

郑媛媛,姚晨,郝莹,等. 不同类型大尺度环流背景下强对流天气的短时临近预报预警研究[J]. 气象,2011,37(7):795-801.

不同类型大尺度环流背景下强对流天气的 短时临近预报预警研究^{*}

郑媛媛 姚 晨 郝 莹 张雪晨

安徽省气象台,合肥 230031

提 要: 利用常规气象资料、自动站资料、卫星资料、NCEP 再分析资料,对 2001—2010 年安徽省强对流天气过程的物理机制、中尺度特征进行分析。结果表明:强对流天气其发生发展和一定的大尺度环流背景场有关,强对流发生的天气学条件即:丰富水汽、不稳定层结、抬升触发机制或强上升运动,强烈发展的强风暴常有逆温层、强的风垂直切变、中层干冷空气等有利条件。然而,这些条件在不同的大尺度环流背景下各要素的重要性不尽相同,产生的强对流天气类型也不相同。冷涡槽后类对流不稳定表现在中低层温度直减率大;风垂直切变强,风随高度强烈顺转,400~500 hPa 有西风急流存在,且与强对流天气的发生区域紧密相关;存在明显的中尺度低压和辐合线、干线;主要造成雷雨大风和冰雹天气。槽前类通常对流不稳定能量较大,中低层有急流存在,风速水平切变和垂直切变大;快速东移的短波槽是触发强对流天气的主要机制;低层水汽条件较好;主要导致雷雨大风、短时强降水和龙卷天气。通过对不同类型大尺度环流背景下强对流天气各天气要素和物理量统计,提取环境场消空指标,明显提高了基于多普勒雷达反射率因子和平均径向速度的龙卷识别和预警水平。对比分析了 2010 年 7 月 19—20 日发生在副高边缘槽前类和在东北冷涡形势下的 2009 年 6 月 3 日、5 日、14 日在黄淮和江淮地区分别产生飚线并造成大范围雷雨大风、冰雹等强对流天气产生的物理机制、中尺度特征差异,提高对不同类型大尺度环流背景下强对流天气的短时、临近预报水平。

关键词: 大尺度环流背景,强对流天气,中尺度系统,监测预警

The Short-Time Forecasting and Early-Warning Research on Severe Convective Weather Under Different Types of Large-Scale Circulation Background

ZHENG Yuanyuan YAO Chen HAO Ying ZHANG Xuechen

Anhui Meteorological Observatory, Hefei 230031

Abstract: Based on conventional observation data, satellite data, automatic weather station data and NCEP ($1^\circ \times 1^\circ$) reanalysis data, the physical mechanisms and mesoscale features of severe convective weather processes in Anhui Province in recent ten years (2001—2010) are analyzed. The results show that: The development of severe convective weather is related to the large-scale circulation background, which needs abundant water vapor, unstable stratification, the trigger mechanism or strong lifting, and the strong development of strong storms often have inversion layer, strong vertical wind shear, mid-level dry air and other favorable conditions. However, the importance of these conditions in different large-scale circulation backgrounds is not the same, and these conditions also produce different types of severe convective weather. The convective instability of cold vortex pattern and behind trough shows that: the lapse rate of tem-

^{*} 2009 年公益性(气象)行业科研专项“中尺度对流性天气诊断分析方法研究”(GYHY200906003)、2010 年公益性(气象)行业科研专项“强对流天气短时临近预报非常规检验新技术研发”(GYHY201006002)和全国强对流预报专家团队共同资助

2010 年 12 月 30 日收稿; 2011 年 4 月 12 日收修定稿

第一作者: 郑媛媛,主要从事天气预报研究. Email: zhengyy63@sina.com

perature in low-levels is large; vertical wind shear is strong; the wind strongly clockwise with height increasing; westerly jet exists in 400—500 hPa, which is closely related with the severe weather area; and there exist obvious mesoscale low pressure, convergence line, and dry line. This pattern mainly causes thunderstorm, strong wind and hail. The CAPE is usually large in ahead of trough pattern, low-level jet exists, the horizontal and vertical shears of wind are large; the short-wave trough moving to east rapidly is the main trigger mechanism of strong convective weather; and the low-level moisture condition is good. This pattern mainly causes thunderstorm, strong wind, flood and tornado. Through statistics of the various weather elements and physical parameters of severe convective weather under different types of large-scale circulation background, and extraction of eliminating empty forecast indicators using environment field, we will significantly improve the tornado identification ability and early-warning level based on the reflectivity factor and the average radial velocity of Doppler radar. This paper compares the physical mechanism and mesoscale characteristic differences between two severe convective weather processes which caused squall line, vast thunderstorm wind and hail on Huang-Huai and Jiang-Huai Regions one of which occurred in the situation of subtropical high edge and ahead of trough during 19—20 July 2010, the other occurred in the situation of Northeast cold vortex on 3, 5, and 14 June 2009. This work may improve short-time forecasting ability of severe convective weather under different types of large-scale circulation background.

Key words: large-scale circulation background, severe convective weather, mesoscale system, monitoring and early-warning

引 言

强对流天气是安徽省春夏季发生频率较高的灾害性天气之一,其中雷雨大风、短时强降水和冰雹最为常见,但近几年龙卷天气基本上平均每年出现一次,造成大量人员伤亡和财产损失。因此加强强对流天气短时和临近预报技术研究,提高预报能力是非常必要的。近年来,国内外有关强对流预报方法的研究已有很多成果^[1-4],陈秋平等^[5]、赵培娟等^[6]利用中尺度模式和探空资料在短时潜势预报方面做了大量工作,郝莹等^[7]利用 T213 数值预报产品开展安徽雷暴潜势预报,从实际预报检验效果来看,强对流天气空报率较高,同时还存在一定程度的漏报情况,其原因在于不同大尺度环流背景下,强对流天气的触发机制不同,水汽条件、不稳定层结、抬升触发机制、风垂直切变等要素的重要性不尽相同,产生的强对流天气类型也不相同。

通过分类建立强对流天气的天气尺度概念模型,研究其物理机制、中尺度特征,可以有效提高预报针对性,减少空报和漏报,提高对不同类型大尺度

环流背景下强对流天气的短时、临近预报水平。

1 冷涡槽后类、槽前类天气尺度概念模型

1.1 冷涡槽后类、槽前类天气尺度概念模型

对安徽 2001—2010 年近 10 年共 37 例典型强对流天气大尺度环流背景场分析结果显示,从 500 hPa 形势场来分主要分为两种类型,一是冷涡槽后类 19 例,占典型强对流个例的 54.1%,主要造成雷雨大风和冰雹天气;二是槽前类 18 例,占典型强对流个例的 45.9%,主要导致雷雨大风、短时强降水和龙卷天气。

1.2 环流形势

冷涡槽后类概念模型见图 1,其环流形势特点是在 500 hPa 图上,在我国东北地区,或者在朝鲜半岛附近,有一个闭合低涡,一般有低温中心相配合,在冷涡西侧,则有一条近东西向横槽,横槽南侧通常有明显的东西向锋区。在南部沿海 120°E 附近则有

一南北向稳定低槽,安徽省为一致西北气流控制,具有较强的冷平流;850 hPa 图上,在淮河上游或郑州附近,一般都有 20℃ 以上暖中心相配合,相应地面上,在安徽省北部 35°N 附近,一般有东西向冷锋,或者热低压,或者均压区相配合,强对流天气发生前天气晴好,地面吹偏南风,有利于增温增湿和低空不稳定能量的累积。强对流天气主要出现在午后至上半夜冷锋经过的地区或在热低压、均压区东南象限内产生。在这种环流形势下,安徽省西北部由于受 500 hPa 冷平流的影响,有利于触发雷雨大风和冰雹天气。

槽前类主要出现在 7—8 月,概念模型见图 2,其环流形势特点为副高势力较强,江淮地区高低空均受槽前西南气流影响,850、700 和 500 hPa 三层低槽位置比较接近,200 hPa 上安徽处于分流区,有辐散场与之配合。分析发现,直接影响对流风暴生

成的是槽前短波槽,其作用在两方面:一是它携带小股干冷空气向东伸展,提供中层干冷空气入侵条件;二是短波槽前的辐合上升对强对流生成有利。地面上,强对流天气发生前安徽处于暖低压控制下,气压值大都低于 1000 hPa。安徽在强天气发生前为偏南风控制,地面要素场上表现为高温高湿的特征。深厚低槽前部的上升运动为强对流的发展提供了有利条件;有利的湿度条件使槽前类强对流在产生大风的同时,在暖区一侧常伴有明显的短时强降水。2010 年 7 月 19—20 日强对流过程属于典型的槽前类。

2 物理量特征对比分析

2.1 水汽和层结条件分析

强对流系统得以发生、发展和维持,必须有丰富的水汽供应,这是风暴的主要能量来源,冷涡槽后类通常没有低空急流,除近地面层湿度较好外,中上层湿度都比较差。槽前类 850 hPa 上沿低空急流轴从广西、湖南有伸向安徽的湿舌,为强对流天气产生提供很好的水汽条件。由表 1 可见槽前类有丰富的水汽供应,大气可降水量平均在 57 mm,呈现“湿”对流风暴特征,有利于雷雨大风和短时强降水的产生。而冷涡槽后类水汽条件比较差,大气可降水量平均在 35 mm 左右,主要触发雷雨大风和冰雹天气,呈现“干”对流风暴特征。

冷涡槽后类通常中低层有干暖盖,主要出现在 850 hPa 槽线附近至 500 hPa 涡槽后的范围内,它和地面的交线就是干线。低空存在温度脊,500 hPa 有较强冷温度槽,中低层温度直减率大, $T_{850} - T_{500} \geq 28^\circ\text{C}$ 。强的温度直减率起着维持负浮力的作用,有利地面大风的出现。

槽前类中低层温度直减率不大,对流不稳定的建立主要由湿度差动平流引起。水汽通量辐合主要存在于低层,中层迅速减小,两者差别接近一个量级,水汽通量的差异大于温度平流差异。同时对流有效位能较大,平均超过 $1572 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,强对流天气出现在对流有效位能梯度大的地方。

由表 1 可见冷涡槽后类 0℃ 层高度平均在 4 km 左右,有利于冰雹出现,而槽前类 0℃ 层高度平均超过 5 km,暖云层厚度超过 4.5 km 不利于冰雹的产生。

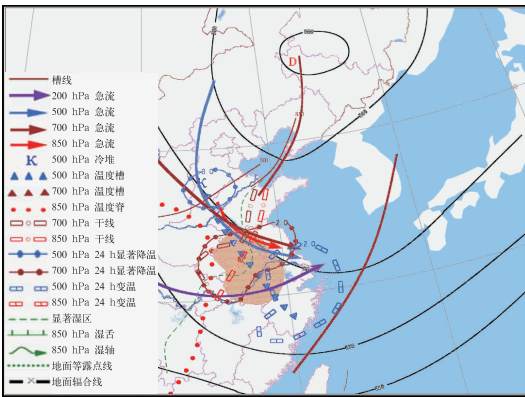


图 1 冷涡槽后类天气尺度概念模型
Fig. 1 The conceptual pattern of cold vortex and behind trough weather

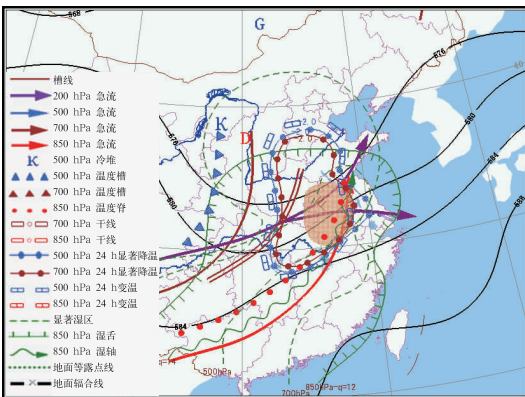


图 2 槽前类天气尺度概念模型
Fig. 2 Ahead of trough weather conceptual pattern

表1 2001—2010年槽前、槽后类物理量平均值

Table 1 Average physical parameters of ahead of trough pattern and behind trough pattern in 2001—2010

| | $K/^\circ\text{C}$ | $CAPE$ $/\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ | P_w/mm | $T_{850-500}/^\circ\text{C}$ | $\theta_{se\ 850-500}$ $/^\circ\text{C}$ | H_{0C} $/\text{gpm}$ | 暖云厚度 $/\text{gpm}$ | 风切变 $_{0\sim 1\ \text{km}}$ $/10^{-3}\ \text{s}^{-1}$ | 风切变 $_{0\sim 6\ \text{km}}$ $/10^{-3}\ \text{s}^{-1}$ |
|----|--------------------|--------------------------------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 槽前 | 35.76 | 1572.46 | 57.21 | 24.38 | 10.65 | 5048.00 | 4532.79 | 7.10 | 2.53 |
| 槽后 | 28.17 | 821.88 | 35.33 | 28.88 | 8.90 | 4115.71 | 3171.88 | 7.50 | 3.23 |

2.2 动力条件对比分析

2.2.1 触发机制

对冷涡槽后型强对流天气的分析得知,在强对流出现前,强对流相对应的区域其中32%在500 hPa上有短波槽东移,95%有中低层切变线和干线存在,100%出现了地面辐合线,其中地面辐合线周围伴有干线发展的占68%。强对流天气在干线、辐合线附近发展,或强对流风暴移经干线、辐合线附近时有所加强。由图3可见,2009年6月14日08时925 hPa在淮北北部维持一东西向辐合线,在辐合线北侧有干线存在,13时在干线附近有对流

云团发展,14时对流云团明显加强,并向辐合线方向移动,随后不断有对流云团在辐合线附近发展加强并沿着辐合线移动。至20时在925 hPa上切变线依然维持,且切变线两侧风速明显加大,对流云团在东移南压过程中在切变线上明显加强。

槽前类地面图上均为暖湿结构,无一例有干线,但都伴有地面辐合线发展;94%伴有中低层切变线,70%左右500 hPa上有短波槽东移,其作用表现为两方面:一是它携带小股干冷空气向东伸展,提供中层干冷空气入侵条件;二是短波槽前的辐合上升对强对流生成有利。从2010年7月19—20日涡度与低槽的演变(见图4)可以看到,7月19—20日,

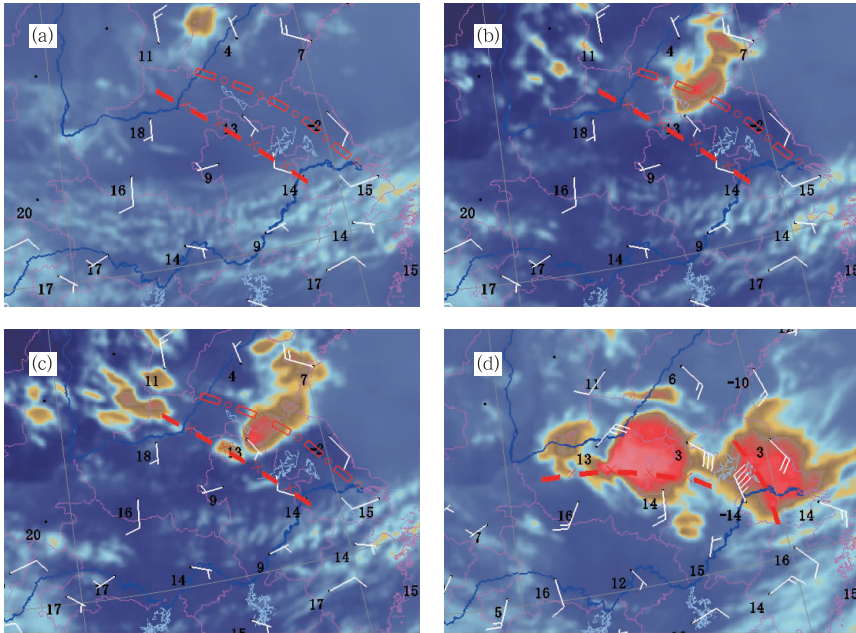


图3 2009年6月14日925 hPa辐合线、露点温度与红外云图

(a) 08时辐合线和08时云图; (b) 08时辐合线和13时云图;
(c) 08时辐合线和14时云图; (d) 20时辐合线和20时云图

红色实线:925 hPa辐合线;红色空心线:925 hPa干线

Fig. 3 Infrared satellite cloud image and 925 hPa convergence line on 14 June 2009

(a) 08:00 BT convergence line and IR image; (b) 08:00 BT convergence line and 13:00 BT IR image; (c) 08:00 BT convergence line and 14:00 BT IR image; (d) 20:00 BT convergence line and IR image

The red solid line, 925 hPa convergence line; The red hollow line, 925 hPa dry line

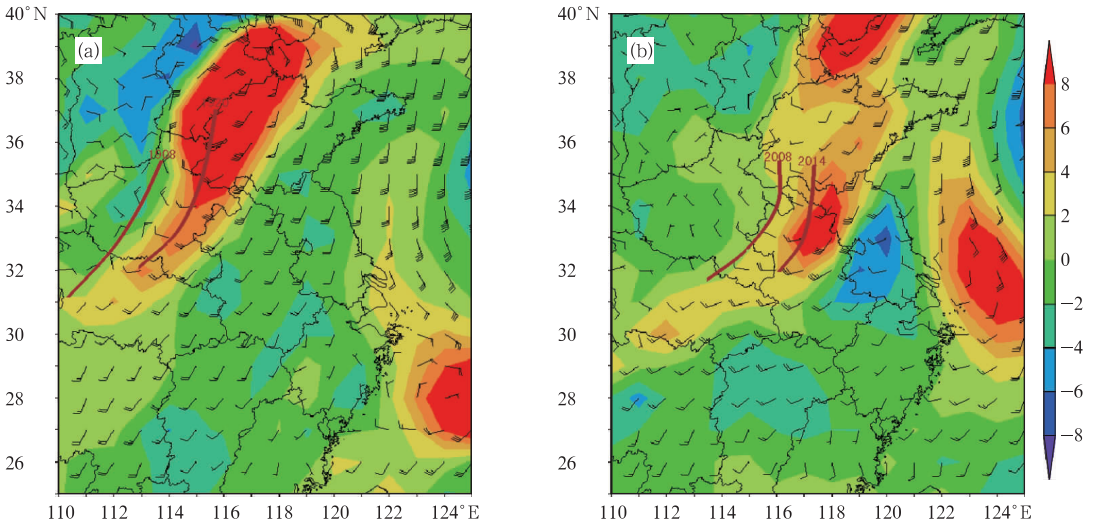


图 4 2010 年 7 月 19 日 20 时(a)、7 月 20 日 14 时(b)850 hPa 涡度
(单位: 10^{-5} s^{-1})与低槽叠加图

Fig. 4 The 850 hPa vorticity (units: 10^{-5} s^{-1}) superimposed on trough
at 20:00 BT 19 (a) and 14:00 BT 20 (b), July 2010

850 hPa 有短波槽东移,强对流天气出现在槽前正涡度区中。

2.2.2 垂直风切变、中低空急流特征分析

垂直风切变是维系强对流发生、发展的必要条件^[8],统计证实,强的垂直风切变有利于风暴的持续发展,可以增强中层干冷空气的吸入,加强风暴中下

沉气流和低层冷空气外流。同时风随高度顺转有利于强风暴的产生。

冷涡槽后类低层 80%均没有低空急流,但中层 400~500 hPa 均有急流活动,中低空垂直风切变主要表现在风向的变化上,850~500 hPa 风向顺转可达 90° 以上,槽后类强对流 0~1 km 的垂直风切变

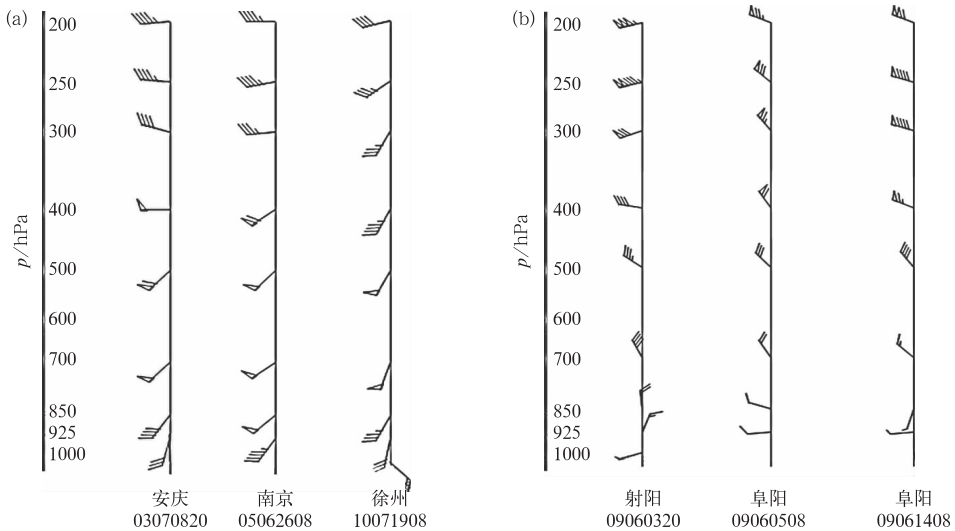


图 5 探空垂直剖面图

(a) 2003 年 7 月 8 日 20 时安庆、2005 年 6 月 26 日 08 时南京、2010 年 7 月 19 日 08 时徐州;
(b) 2009 年 6 月 3 日 20 时射阳、5 日 08 时阜阳和 14 日 08 时阜阳

Fig. 5 Vertical profiles by radiosondes at (a) Anqing 20:00 BT 8 July 2003,
Nanjing 08:00 BT 26 June 2005, and Xuzhou 08:00 BT 19 July 2010; and
(b) Sheyang 20:00 BT 3, Fuyang 08:00 BT 5 and 08:00 BT 14 June 2009

平均值为 $7.1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, $0 \sim 6 \text{ km}$ 垂直风切变平均值为 $3.2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。 $0 \sim 1 \text{ km}$ 和 $0 \sim 6 \text{ km}$ 风切变都较大。2009 年 6 月 3、5 和 14 日三次飚线过程均出现大范围雷雨大风等强对流天气,且持续时间较长,其中 5 日和 14 日过程在安徽持续时间在 6 小时左右。从三次过程最靠近探空站的高低空风场分布(图 5b)可见,低层均没有低空急流,但中层 400~500 hPa 均有急流活动,中低空垂直风切变主要表现在风向的变化上,850~500 hPa 风向顺转可达 90° 以上。利用 NECP 资料分别计算了 2009 年 6 月 3、5 和 14 日 $0 \sim 3 \text{ km}$ 、 $0 \sim 6 \text{ km}$ 风切变(图略),可见三次过程在江淮地区均存在明显的垂直风切变,并且最大风切变区域与 500 hPa 急流轴有很好的对应关系,强对流天气就出现在 500 hPa 急流轴的垂直下方,表明中空急流对强对流活动有明显的影响。

相比之下槽前类高低空均受槽前西南气流影响,槽前类中有 70% 出现了低空急流,10% 没有出现中空急流,90% 以上 850、700 和 500 hPa 三层中某层有急流存在(见图 5a),槽前类强对流 $0 \sim 1 \text{ km}$ 的垂直风切变平均值为 $7.5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$,可见近地面垂直风切变平均比冷涡槽后类强。 $0 \sim 6 \text{ km}$ 垂直风切变平均值为 $2.6 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$,低于冷涡槽后类型。

从 2010 年 7 月 19 日 08 时高空综合图(见图 6)

可见,低槽位置比较接近,对流风暴出现在急流大风核的左前方,风的水平和垂直切变都比较大,且低层风切变更明显。研究表明^[9], $0 \sim 1 \text{ km}$ 风切变大有利于龙卷天气的产生,利用 NCEP 计算的 2010 年 7 月 19 日 08 时和 14 时 $0 \sim 1 \text{ km}$ 风切变很大(见图 7),超过 $10 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 以上,导致在河南许昌长葛市出现龙卷,并在河南、山东、安徽先后出现雷雨大风天气,并伴有短时强降水。

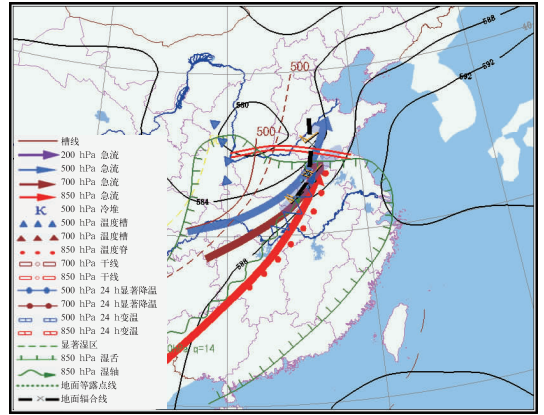


图 6 2010 年 7 月 19 日 08 时实况
高低空综合分析图

Fig. 6 Comprehensive analysis of
lower-level and upper-level
observations at 08:00 BT 19 July 2010

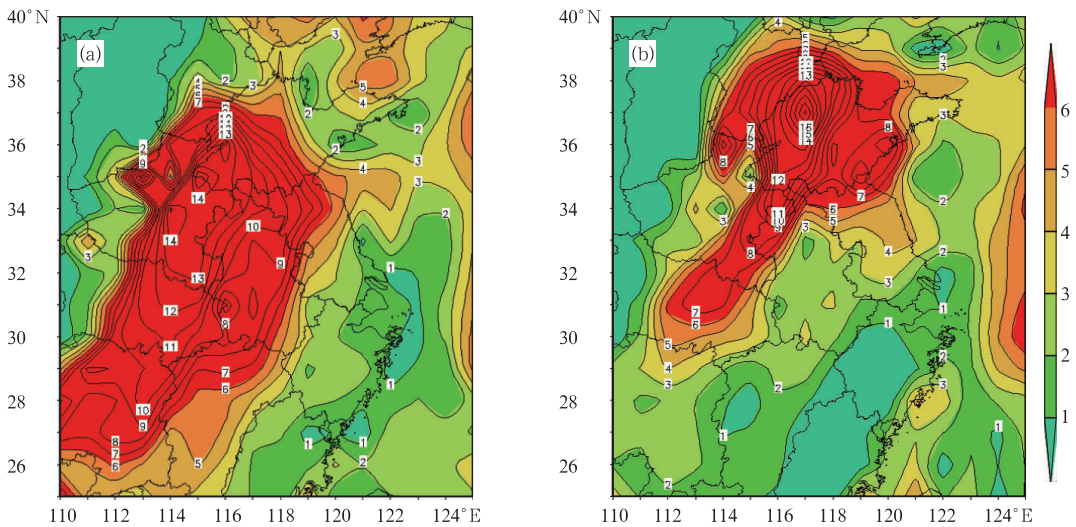


图 7 2010 年 7 月 19 日 08 时(a)和 14 时(b) $0 \sim 1 \text{ km}$
垂直风切变(单位: 10^{-3} s^{-1})

Fig. 7 The $0 \sim 1 \text{ km}$ vertical wind shears (units: 10^{-3} s^{-1})
at 08:00 BT (a) and 14:00 BT (b) 19 July 2010

3 改进基于多普勒雷达资料的强对流天气临近预报算法

目前多普勒雷达在强对流天气临近预报业务中发挥重要作用,但基于多普勒雷达反射率因子和平均径向速度的龙卷预警算法由于没有考虑到环境因子的影响,会出现空报情况。安徽龙卷主要发生槽前类大尺度环流背景下,通过统计槽前类强对流天气地面温度、地面气压、大气可降水量、 K 指数、 0°C 层高度,建立了消空指标,地面温度 $\leq 21^{\circ}\text{C}$;地面气压 $\geq 1008\text{ hPa}$;可降水量 $\leq 18\text{ mm}$; K 指数 $\leq -5^{\circ}\text{C}$; 0°C 层高度 $\leq 3000\text{ m}$,只要满足上述任何一项指标,则不可能出现龙卷,经检验空报率下降30%左右。冰雹指数算法中虽然增加了实时探空资料,但空报依然很高,相信结合环境因子消空会在一定程度上减少空报率。

4 结论

不同类型大尺度环流背景下强对流天气水汽条件、大气层结稳定度、抬升触发机制不尽相同,产生的强对流天气类型也不相同。冷涡槽后类对流不稳定表现在中低层温度直减率大;风垂直切变强,风随高度强烈顺转,400~500 hPa有西风急流存在,且与强对流天气的发生区域紧密相关;主要触发机制是中尺度低压和辐合线、干线。主要造成雷雨大风和冰雹天气。槽前类对流不稳定的建立主要由湿度差动平流引起,通常对流有效位能比较大,强对流天气的发生区域主要位于对流有效位能的大梯度区域;中低层有急流存在,风速水平和垂直切变大;快

速东移的短波槽是触发强对流天气的主要机制;低层水汽条件较好。主要导致雷雨大风、短时强降水和龙卷天气。

通过对不同类型大尺度环流背景下强对流天气各天气要素和物理量统计,提取环境场消空指标,可以弥补目前基于多普勒雷达反射率因子和平均径向速度的冰雹、龙卷预警算法空报偏多的情况,提高临近预报水平。

为了在实际业务中发挥概念模型对预报员的指导作用,目前已经初步尝试用决策树方法实现天气尺度概念模型自动识别。

参考文献

- [1] 张信华,余建华,范明福,等. 闽北不同季节强对流天气异同点分析[J]. 气象,2010,36(6):29-34.
- [2] 曲晓波,王建捷,杨晓霞,等. 2009年6月淮河中下游三次飊线过程的对比分析[J]. 气象,2010,36(7):151-159.
- [3] 杨蕾,孙继松,魏东. 利用探空资料判别北京地区夏季强对流的天气类别[J]. 气象,2011,37(2):136-141.
- [4] 郑永光,张小玲,周庆亮,等. 强对流天气短时临近预报业务技术进展与挑战[J]. 气象,2010,36(7):33-42.
- [5] 陈秋萍,冯晋勤,李白良,等. 福建强天气短时潜势预报方法研究[J]. 气象,2010,36(2):28-32.
- [6] 赵培娟,吴蓁,郑世林,等. 河南省强对流天气诊断分析预报系统[J]. 气象,2010,36(2):33-38.
- [7] 郝莹,姚叶青,陈焱,等. 基于对流参数的雷暴潜势预报研究[J]. 气象,2007,33(1):51-56.
- [8] Weisman M L, Klemp J B. The dependence of numerically simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy[J]. Mon Wea Rev,1982,110:504-520.
- [9] Brooks H E, Doswell III C A, Wilhelmson R B. The role of midtropospheric winds in the evolution and maintainance of low-level mesocyclones[J]. Mon Wea Rev,1994,122:126-136.