

谢甲子,寇正,王勇.西北太平洋地区一次爆发性气旋的诊断分析.暴雨灾害,2009,28(3):251-254,276.

西北太平洋地区一次爆发性气旋的诊断分析

谢甲子,寇正,王勇

(解放军理工大学气象学院,南京 211101)

摘要:采用 NCEP 2.5°×2.5°每 6 h 再分析格点资料,对 1979 年 1 月 9—12 日西北太平洋地区一次爆发性气旋进行了诊断分析,重点讨论了气旋爆发的天气学特征和动力因子。结果表明:爆发性气旋的发展具有明显的非地转特性,高低空急流的耦合作用、涡度平流和凝结潜热的释放是气旋爆发性发展的主要强迫因子;爆发性气旋处于高空急流之下的对流层锋区,大气的斜压性很强,斜压能量是气旋初期生成和发展动能的主要来源。

关键词:爆发性气旋;急流;非地转;诊断分析

中图分类号:P447 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2009)03-0251-04

1 引言

Sanders 与 Gyakum^[1]将气旋中心的海平面气压下降率达到了一个贝吉隆(24hPasin ϕ /(24hsin60°)), ϕ 为气旋中心所在纬度的气旋称为爆发性气旋,爆发性发展的气旋或“气象炸弹”生成。由于爆发性气旋发展异常迅猛,突发性强,常伴有大风、暴雨等剧烈天气,预报困难,常给海上航行和作业造成严重威胁。较著名的气象炸弹 QE2^[2]的中心气压在 24 h 内下降了 60 hPa,并形成类似于台风的风场和云系分布。

Sanders、Roebber 等人的统计表明,冬半年东亚沿岸及西太平洋地区,特别是日本海及以东洋面是爆发性气旋的多发区。近年来,气象研究人员从天气学、诊断分析和数值模拟的角度对爆发性气旋的发生发展做了一些工作。李长青等^[3]利用完全的 ω 方程和 Sawyer-Eliassen 次级环流方程对一次爆发性气旋的诊断分析发现,大尺度加热是使气旋强烈发展的主要物理因子,而温度平流则是启动因子。丁治英等^[4]对发生在太平洋和大西洋的 16 个爆发性气旋做了合成分析并对强弱爆发性气旋进行了对比及诊断,结果发现,基本场上存在不少明显的差异;强爆发性气旋的形成与高空急流非纬向性密切相关;非纬向高空急流为爆发性气旋提供了强的辐散、斜压性、斜压不稳定场,促使气旋快速加深。周毅等^[4]通过数值求解位涡反演诊断方程,定量诊断出气旋爆发性发展阶段凝结潜热释放对低层降压和气旋式环流增强的重要影响。吕梅等^[5]通过对一个爆发性气旋个例的分析发现,高空急流核的东传及高空强风动量的下传加速了低层强风带及气旋性涡度切变;以对流层中高层的强涡度为背景,气

旋在中低层得以爆发性发展,使得强盛期的气旋发展成为一个上下一致的垂直涡度柱。

1979 年 1 月 9—12 日在西北太平洋地区发生一次爆发性气旋。此次过程是一次典型的西太平洋气旋爆发性发展过程,发展速度快,强度大,各因子作用明显,天气学特征显著,具有一定的代表意义。本文通过对此次过程的诊断,以便揭示气旋爆发性发展的天气学特征。文中采用美国 NCEP 再分析格点资料,网格分辨率为 2.5°,每日 4 个时次。

2 爆发性气旋发展过程与天气形势

此气旋于 1979 年 1 月 9 日在我国东部海域形成,从当日 18 时(世界时,下同)地图上可见有气旋中心开始出现(图略)。气旋形成后迅速发展并东移北进,到 12 日 00 时,在 167°E、55°N 附近达到最强,之后逐渐减弱,最后消亡。根据气旋中心海平面气压随

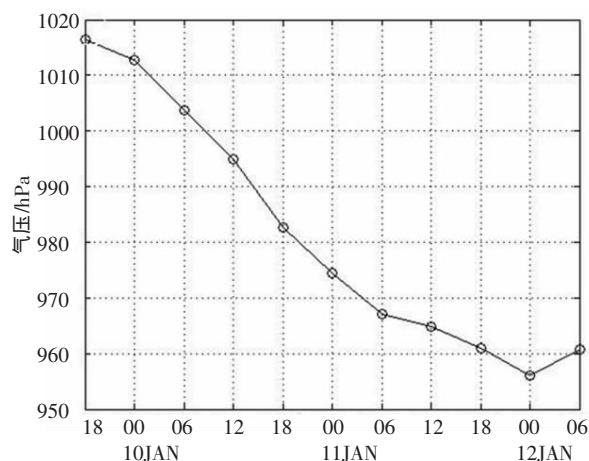


图 1 1979 年 1 月 9 日 00 时至 12 日 06 时(世界时)气旋中心气压变化(单位: hPa)

收稿日期:2009-05-10;定稿日期:2009-09-23

作者简介:谢甲子,男,1984 年生,助理工程师,主要从事动力气象学研究。E-mail: taoheliuzhu_shui@163.com

时间变化(图 1),可将这次爆发性气旋发展过程分为四个阶段。第一阶段在 10 日 00 时前,是气旋初生阶段,其强度变化不大,且移动缓慢,路径向东;第二阶段在 10 日 00 时至 11 日 00 时,为气旋爆发性阶段,其发展迅速,中心值在 24 h 之间下降 38.3 hPa,并向东北方向快速运动;第三阶段在 11 日 00 时至 12 日 00 时,为气旋发展减慢阶段,其发展开始减慢,中心气压 24 h 内降低 18.3 hPa,移动无特定方向。第四阶段在 12 日 00 时之后,为消亡阶段,气旋中心气压逐渐增大,气旋开始填塞减弱且稳定少动。

500 hPa 图上,1979 年 1 月 10 日 00 时,对应于地面气旋中心北侧有一冷涡(图 2),低涡上游有一冷中心,低涡附近伴随有强锋区,大气斜压性明显;冷涡后部有一低槽,温度波落后于气压波,槽区有强的冷平流,该槽在发展东移过程中转竖南下,槽前脊向东北方向伸展,槽脊系统经向度加大,槽线和脊线之间距离缩短,槽前正涡度平流增强,利于地面气旋发展。

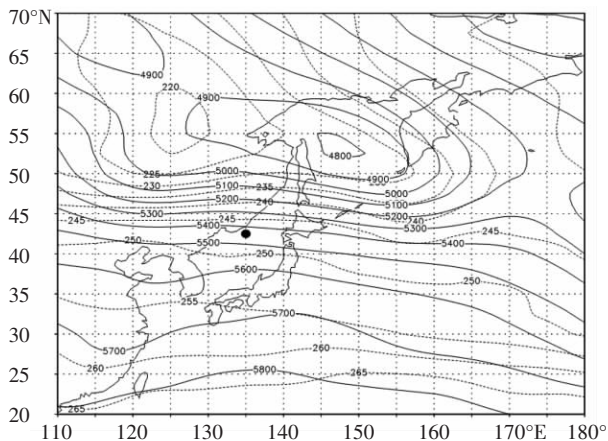


图 2 1979 年 1 月 10 日 00 时 500 hPa 天气图

●为 1000 hPa 气旋中心,下同

与 500 hPa 类似,700 hPa 上对应地面气旋西北也有一低槽东移发展并转竖南下,从系统垂直配置来看,其随高度西倾,斜压结构十分清楚。地面图上,9 日

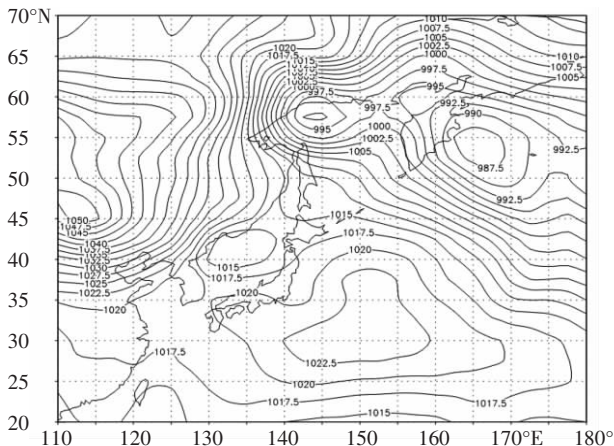


图 3 1979 年 1 月 10 日 00 时地面天气图

18 时,气旋开始生成;到 10 日 00 时(图 3),气旋位于 135.0°E、42.5°N,中心气压为 1 012.7 hPa,气旋在高空气流引导下逐渐向东略偏北方向移动并快速发展;11 日 00 时(图略),气旋移至 157.5°E、47.5°N,其中心气压降至 974.4 hPa,24 h 气压下降 38.3 hPa,达 1.4 个贝吉隆;之后,气旋继续缓慢发展,到 12 日 00 时(图略),高空低涡叠置在地面气旋之上,低层气旋性闭合环流在向上伸展过程中与 500 hPa 低涡环流贯通,气旋演变为一深厚涡旋系统,中心气压达最低(956.1 hPa),其后逐渐消亡。

综上分析可知,与一般气旋发生发展类似,爆发性气旋发展一般有高空槽发展与地面低压发展相配合;高空槽前正涡度平流引发涡旋上升运动产生抽吸作用,使气旋得到初步发展,当温压场有很好配置时,更有利于气旋爆发性发展。

3 急流演变与气旋发展

一般来说,急流对气旋发展有很大影响。根据高空急流的特点,急流中心左前方和右后方都有很强的辐散场,有利于气旋系统发生发展。此次爆发性气旋过程中,高空急流的作用有明显的特点。250 hPa 图上,10 日 00 时(图 4),气旋北部有一迅速发展并逐渐南压的高空急流(属极锋急流),气旋中心处于极锋急流中心的右后方,在此位置极锋急流使大气产生辐散运动;该急流有两个大风核,靠东的大风核中心风速超过 $65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,靠西的大风核风力较弱(风速小于 $65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)。极锋急流使气旋上空产生强烈辐散运动,对气旋系统迅速发展极为有利。

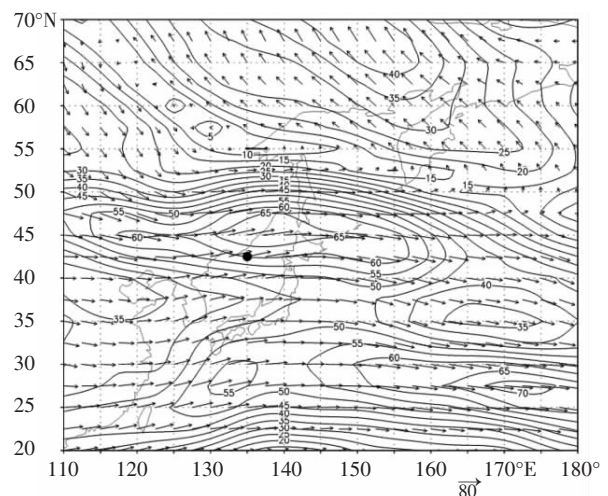


图 4 1979 年 1 月 10 日 00 时 250 hPa 风速风矢分布(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

随气旋系统东进北移,250 hPa 气旋北部的高空急流迅速发展,中心风速迅速增大,11 日 00 时(图略),中心风速出现大于 $70 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 区域;当日 12 时,其中心风速大于 $75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。随气旋北移和急流南压,10 日 18

时气旋中心位于急流左前方,在此位置极锋急流使大气产生强烈辐散运动,也有利于气旋发展。随其继续北移和急流继续南压,气旋逐渐脱离急流影响,急流对气旋的作用迅速减小,气旋发展逐渐减慢。同时,高空急流区下方的850 hPa存在一支迅速发展的西南风低空急流,该急流位于地面气旋中心的南部,10日00时(图略),该急流的最大风速大于 $15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,到11日00时已超过 $35\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图略),其24 h内增加大约 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,且偏南风风速增加明显。上述分析结果表明,高低空急流的演变与气旋的爆发性发展有很好的对应关系。

4 非地转运动与高低空急流耦合

由以上分析可知,在气旋发展的过程当中,气旋上空有一支强劲高空急流,其大风核出口区下方有一支低空急流。对与高低空急流相关的非地转运动的结构以及高低空急流耦合作用对气旋发展影响作如下讨论。

P 坐标系中,考虑到天气尺度大气运动满足静力平衡条件,非地转风表示为

$$\vec{V}_a = \vec{V} - \vec{V}_g = \vec{V} + \frac{1}{f} \nabla \Phi \times \vec{k}$$

随气旋快速发展,250 hPa急流区非地转风随之增强,最大风速由10日00时的 $14\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 增大到11日00时的 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;10日12时(图5),250 hPa非地转流场特征在地面气旋上空表现出明显的辐散流场结构,气旋西侧为偏东北气流、东侧为偏西北气流,共同构成强烈辐散场。

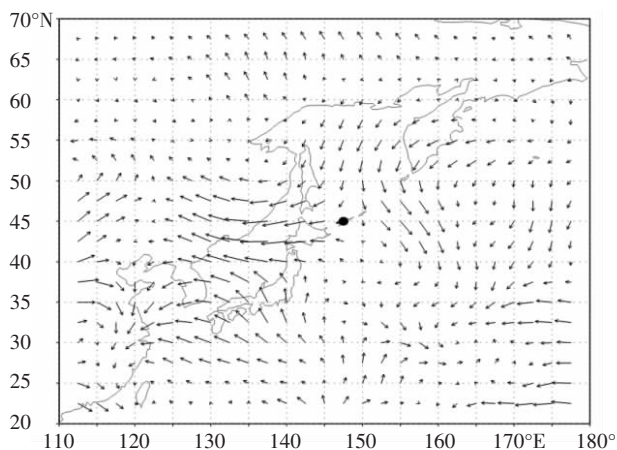


图5 1979年1月10日12时250 hPa非地转风场(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

由对急流的分析可知,气旋快速发展过程中,其南侧偏西南低空急流南风分量增大,与高空急流大风核在传播过程当中对低层质量场的动力强迫调整有关。高空急流大风核出口区,存在一支横跃急流的偏北非地转气流,使高层质量向南输送,从而增大低层

向北的气压梯度力,使低层向北的地转风加大,促使低空急流加速。10日12时,850 hPa非地转风(图略)表现为两支,气旋南侧有一支偏东南非地转气流,是横越急流的次级环流的返回支;气旋东北侧有一支偏东北风非地转气流,两支非地转气流在地面气旋东侧形成强的辐合形势。

因此,在高空急流大风核出口区,由风场的平流惯性作用在高层产生横跃急流的非地转运动,造成高层横向质量输送并强迫低层减压,形成横向次级环流在低层的返回支,促使低空急流加强和偏南风分量增大。可见,高低空急流是通过对流层高低层质量调整耦合的。

5 物理量场诊断分析

5.1 相对涡度平流

10日00时(图略),地面气旋位于500 hPa槽前,气旋中心位于正涡度平流区,利于气旋发展,气旋中心上空正涡度平流强度为 $1 \times 10^{-9}\text{ s}^{-2}$,正涡度平流中心位于气旋北侧,其中心值大于 $3 \times 10^{-9}\text{ s}^{-2}$,由于温度槽落后于高度槽,槽发展加强并转竖到正涡度平流中心区域,气旋中心上空正涡度平流强度不再继续增大;之后,500 hPa正涡度平流、槽前正涡度平流加强,同时下游的脊发展加强,槽脊系统经向度加大,槽脊线距离缩短,使槽前正涡度平流加强;10日12时(图6),正涡度平流中心量值大于 $4 \times 10^{-9}\text{ s}^{-2}$,且气旋中心移至正涡度平流中心附近,正涡度平流强度超过 $4 \times 10^{-9}\text{ s}^{-2}$,高层动力强迫明显增强;到11日00时,500 hPa槽前正涡度平流区强度虽继续增大(中心值超过 $6 \times 10^{-9}\text{ s}^{-2}$),但正涡度平流中心已逐渐移出气旋区域上空,而负涡度平流逐渐逼近气旋区域,气旋发展的动力强迫明显减弱。因此,在此次爆发性气旋过程中,正涡度平流的动力强迫作用对气旋发展的贡献尤为重要。

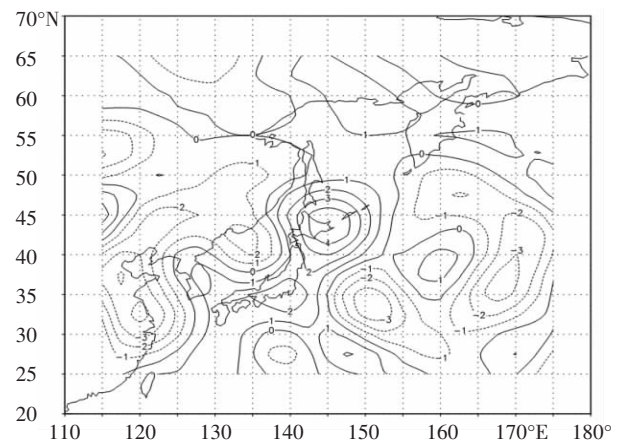


图6 1979年1月10日12时500 hPa涡度平流分布(单位: 10^{-9} s^{-2})

5.2 散度场

10 日 00 时, 250 hPa 图上, 气旋地面中心为辐散区, 辐散中心位于地面气旋中心南侧; 到 11 日 00 时, 地面气旋中心与 250 hPa 辐散区中心重合, 高层辐散场的维持促使地面气旋快速发展。而 250 hPa 气旋区上空辐散场与高空急流密切相关, 在气旋逐渐脱离高空急流的过程中, 气旋上空辐散场强度迅速减弱。850 hPa 与气旋对应区域的辐合迅速增加, 10 日 00 时, 与地面气旋暖锋对应的辐合区中心强度为 $-1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$; 到 11 日 00 时(图 7), 其强度增加到 $-3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 以上, 随后逐渐减弱。

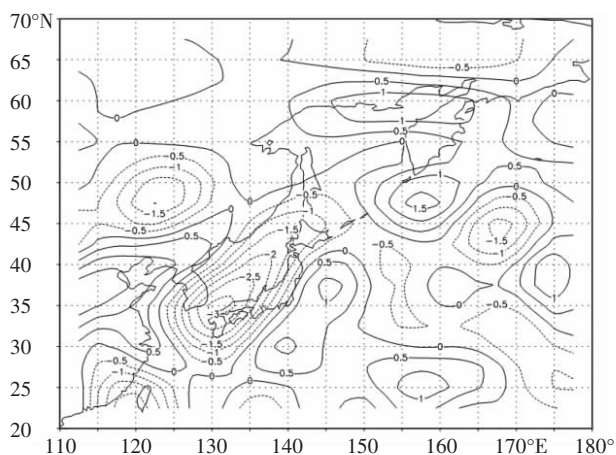


图 7 1979 年 1 月 11 日 00 时 250 hPa 水平散度场(单位: 10^{-5} s^{-1})

由上可见, 10 日 00 时至 11 日 00 时, 气旋的高空对应着强的辐散, 低空对应着强的辐合, 正是这种高层辐散、低层辐合的共同作用不断加强, 促使气旋强烈爆发; 11 日 00 时之后, 气旋上空虽还保持低层辐合、高层辐散的配置, 但强度均已减弱, 对气旋的动力强迫作用开始变小, 使气旋发展减慢。

5.3 可降水量

降水凝结潜热的释放有利于气旋发展, 由文献[4、6]可知, 降水凝结潜热的释放对爆发性气旋发展具有

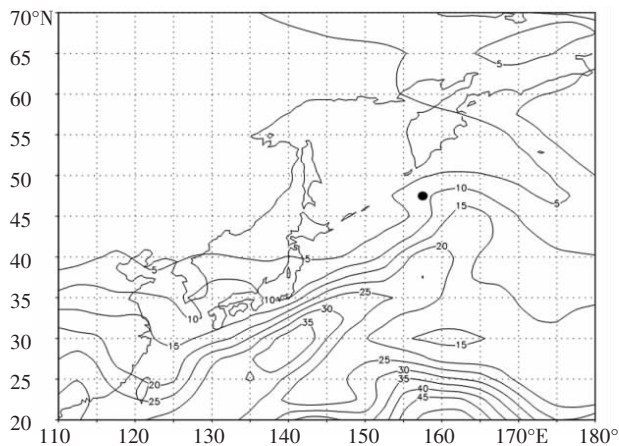


图 8 1979 年 1 月 11 日 00 时可降水量分布(单位: mm)

重要作用的结论。对此次爆发性气旋过程, 通过可降水量(图 8)分析降水凝结潜热释放的作用虽有偏差, 但仍有一定的参考价值。从整个爆发性气旋过程可发现, 有一东北—西南向雨带随气旋东移, 气旋区域可降水量虽均较小, 降水强度中心偏南, 但对气旋爆发仍有贡献; 气旋快速发展阶段结束后, 气旋北上, 气旋区域降水明显减少, 这表明气旋区域降水量变化与气旋发展有较好的对应关系, 也说明降水凝结潜热释放在此次爆发性气旋发展过程中的作用仍较明显。

6 结论

(1) 此次爆发性气旋发展初期, 500 hPa 水平温度梯度很强且其等温线与等压线之间交角明显, 大气斜压性很强, 其发展具有显著的中纬度斜压扰动特征, 斜压能量是其初期生成和发展所需动能的主要来源。

(2) 爆发性气旋处于高空急流之下对流层锋区附近, 250 hPa 极锋急流使气旋上空强烈辐散, 其下方 850 hPa 存在一支迅速发展的西南风低空急流, 高低空急流演变与气旋爆发性发展对应关系均很好。

(3) 气旋爆发性具有强烈非地转特点。高空急流大风核一定区域非地转风辐散特征显著, 激发很强横穿急流的次级环流, 高空辐散场使气旋发展; 低空急流作为次级环流返回支不断加速, 有利气旋爆发性发展。

(4) 气旋上空与斜压短波槽相伴的正涡度平流、非绝热加热也是气旋发展的主要因子。正涡度平流的动力强迫作用在气旋生成和爆发性发展过程中起到重要作用; 非绝热加热在气旋的爆发过程中贡献明显。

参考文献:

- [1] Sanders F, Gyakum J R. Synoptic dynamic climatology of the "bomb" [J]. Mon Wea Rev, 1980, 108: 1589-1606.
- [2] Gyakum J R. On the evolution of the QE-2 storm : synoptic aspects [J]. Mon Wea Rev, 1983, 111: 1137-1155.
- [3] 李长青, 丁一汇. 西北太平洋爆发性气旋的诊断分析[J]. 气象学报, 1989, 47(2): 180-190.
- [4] 周毅, 寇正, 王云峰, 等. 气旋快速发展过程中潜热释放重要性的位涡反演诊断[J]. 气象科学, 1998, 18(4): 121-127.
- [5] 吕梅, 周毅, 陆汉城, 等. 气旋快速发展的机制分析[J]. 气象科学, 1998, 18(4): 348-353.
- [6] 寇正, 欧阳子介. 爆发性气旋发展中斜压强迫与潜热释放作用的数值试验[J]. 气象科学, 1999, 19(3): 259-269.
- [7] 李跃清, 蒋兴文. 1998 年夏季长江上游暴雨过程的水汽输送特征[J]. 暴雨灾害, 2007(3): 35-39.
- [8] 丁治英, 沈桐立, 丁一汇, 等. 非纬向急流中爆发性气旋的数值研究[J]. 气象学报, 1999, 57(4): 429-438.
- [9] 万康玲, 李俊. 1998 年 8 月上旬清江流域集中降水过程分析[J]. 湖北气象, 2001(1): 13-15.

(下转第 276 页)

- 暴雨灾害,2009,28(1):64-70.
- [7] 崔春光,李红莉,彭菊香,等. LAPS 资料在一次鄂东初夏暴雨分析中的应用[J]. 暴雨灾害,2008,27(4):307-312.
- [8] 刘建文,郭虎,李耀东,等. 天气分析预报与物理量计算基础[M]. 北京:气象出版社,2005.
- [9] 胡志晋. 层状云人工增雨机制、条件和方法的探讨[J]. 应用气象学报,2001,12(增刊):10-13.
- [10] 中国气象局科技发展司. 人工影响天气岗位培训教材[M]. 北京:气象出版社,2002.
- [11] 连志鸾,段英. 一次层状云降水过程人工增雨时机与部位选择探析[J]. 中国生态农业学报,2006(14):168-172.
- [12] 王斌,唐仁茂,杨维军. 积云数值模拟在火箭外场试验设计中的应用[G]//中国气象局科教司. 人工影响天气(十二). 北京:气象出版社,1999:32.
- [13] 王斌,向玉春,张鸿雁. 一次对流降水过程增雨催化时机的模拟分析和雷达识别[J]. 气象,2008,34(1):35-40.
- [14] 王艳兰,王丽荣,汤达章,等. 利用多普勒天气雷达估算对流云火箭增雨防雹用弹量的方案[J]. 气象科学,2008,28(4):426-430.
- [15] 许焕斌,段英,刘海月,等. 雹云物理与防雹的原理和设计[M]. 北京:气象出版社,2006.
- [16] 王丽荣,汤达章,郭彦波,等. 多普勒雷达在对流云火箭增雨作业中的应用[J]. 气象科技,2005,33(增刊):47-52.
- [17] 唐仁茂,杨维军,王斌,等. 夏季对流云火箭增雨技术初步研究[J]. 应用气象学报,2001,12(增刊):58-64.
- [18] 王斌,石燕,吴涛,等. 鄂西北夏季对流云降水微物理过程数值模拟[J]. 暴雨灾害,2008,27(1):9-16.
- [19] 楼小凤. MM5 模式的新显式云物理方案的建立和耦合及原微物理方案的对比分析[D]. 北京大学,2002.
- [20] 廖晓农,俞小鼎,于波. 北京盛夏一次罕见的大雹事件分析[J]. 气象,2008,34(2):10-17.

Tentative Application of LAPS Data to the Weather Modification

XIANG Yu-chun^{1,2}, YANG Jun¹, LI Hong-li³, YAO Wang-ling⁴, YUAN Zheng-teng², CHEN Bo³

(1. Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044;

2. Weather Modification Office of Hubei Province, Wuhan 430074;

3. Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074;

4. Wuhan Meteorological bureau of Hubei Province, Wuhan 430040)

Abstract: The application feasibility and method of LAPS data to weather modification are discussed on the operation weather forecasting, the condition estimation, the seeding technical parameters determining, the seeding effects evaluation and weather modification numerical model research. The potential of LAPS data in hail forecasting is studied by two hail cases and the LAPS data is also applied in the enhancement of rainfall. The results show that LAPS data can provide high spatial and temporal resolution data for conducting operation in weather modification, which has advantage in the hail forecast, and can easily and accurately determine the seeding area and seeding dose. LAPS data has a great significance in weather modification service and cloud physics research.

Key words: LAPS; Weather modification; CAPE; Seeding area; Seeding dose

(上接第 254 页)

Diagnostic Analysis of an Explosive Cyclone over Northwest Pacific Area

XIE Jia-zi, KOU Zheng, WANG Yong

(Institute of Meteorology, PLA university of science & technology, Nanjing 211101)

Abstract: With the diagnostic analysis of an explosive cyclone occurred in Northwest Pacific, the synoptic characteristics and dynamic factors of the explosive cyclone are mainly discussed by using grid-point field from NCEP in this paper. The main results are as follow: The development of the explosive cyclone has an obvious characteristic of ageotropism. The role of coupled high/low jets, advection of potential vorticity and condensation latent heat release are important forcing factors of the explosive development of the cyclone. This explosive cyclone occurred in a tropospheric frontal zone under the high jet and barocline was strong. The baroclinic energy was a main supply of the kinetic energy when the cyclone formed and developed in initial stages.

Key words: Explosive cyclone; Jet; Ageotropism; Diagnostic analysis