

局地分析预报系统在龙卷强对流天气分析中的应用

官莉¹, 王雪芹¹, 黄勇^{1,2}

1. 南京信息工程大学大气物理学院, 南京 210044
2. 安徽省气象科学研究所, 合肥 230031

摘要 融合多种探测资料的局地分析预报系统(LAPS)能够提供包含中尺度信息的高分辨率中尺度分析场,利用LAPS资料同化分析场分析2009年6月5日发生在江苏徐州的一次冰雹、龙卷强对流天气的中尺度特征。分析结果表明,(1)对流发生时,大气处于不稳定状态。(2)动力不稳定条件,为强对流天气提供了能量;而充足的水汽条件,有利于强对流的维持。(3)低层辐合、高层辐散的配置有利于对流运动的产生和发展。(4)强对流发生时伴随强烈的上升气流。(5)从可降水量和水成物分布可以很好的识别出降水区和冰雹发生区。应用结果表明,LAPS输出的各种物理量场对强对流天气系统有较好的解释应用能力,能清楚地反映强对流系统的中尺度特征。

关键词 局地分析预报系统;LAPS分析场;强对流天气

中图分类号 P458.2

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.02.03

Paraphrase of Tornado Strong Convective Weather Using a Local Analysis Prediction System

GUAN Li¹, WANG Xueqin¹, HUANG Yong^{1,2}

1. College of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China
2. Anhui Institute of Meteorological Sciences, Hefei 230031, China

Abstract Local Analysis Prediction System (LAPS) is a useful tool that employs various observation data to generate meteorological meso-scale 3D information fields with high temporal and spatial resolutions. A strong convective weather, which had been happened in Xuzhou of Jiangsu Province on 5 June, 2009, was analyzed with LAPS data. The results indicate as follows: (1) When convection is happening, the atmosphere is in an unstable state. (2) A dynamic and unstable condition is the energy for the strong convective weather; abundant water vapor is of benefit to keep a strong convective state. (3) Both low layers convergence and high level divergence are helpful for the convective motion. (4) Also when convection is happening, updraft is extremely intense. (5) Precipitation distribution can distinguish precipitation area and hailstone area very well. Application results show that LAPS physical quantity fields possess good explanation application ability for a strong convective weather system, and they can clearly reflect the meso-scale characteristic in the strong convective system. By comparing with the observational data, it is found that the physical characteristics of LAPS are consistent with the actual weather conditions, and the LAPS data have many advantages in forecasting the meso-scale convection system.

Keywords local analysis prediction system; LAPS analysis field; strong convective weather

0 引言

融合多种探测资料的再分析场比一种大气探测资料更具客观性,在天气形势的分析中具有重要的作用,目前比较流行的再分析场有美国的国家环境预报中心(NCEP)/国家大

气研究中心(NCAR)、欧洲中期天气预报中心(ECMWF)ERA-40^[1]和GAME^[2]分析场等,利用NCEP/NCAR等再分析资料的研究发现这些分析场对大尺度天气形势的分析有很好的指示意义^[3-4],但由于其时间和空间精度相对较低,因此难以得

收稿日期:2010-10-08;修回日期:2010-12-15

基金项目:国家自然科学基金项目(40905019);公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906003)

作者简介:官莉,教授,研究方向为大气遥感科学与技术,电子信箱:liguan@nuist.edu.cn

到较为精细的中尺度天气信息,不能描绘出分辨率较高的中尺度系统三维结构和时间演变特征。

美国国家海洋大气管理局 (NOAA) 下属的 ESRL(Earth System Research Laboratory)研究开发出的局地分析预报系统 (Local Analysis Prediction System,LAPS)具有可移植、可扩充、方便、高效等特性,可利用所有能获取的资料创建分析和预报网格,输出为专门预报应用服务的产品^[5],中国气象局武汉暴雨研究所于 2006 年首次引进该系统,并根据我国观测资料的种类及特点,对其进行了本地化移植及二次开发^[6],LAPS 分析场融合丰富的中尺度探测信息,进而能提供分辨率更高的中尺度信息,其时间分辨率可以达到 1h,空间分辨率可以达到 3km,甚至更细,能够表征局地天气系统的中尺度特点,描述更为细致的中尺度三维结构及其时间变化,给出相当精细的中尺度天气变化,甚至得到和发现一些新的中尺度天气信息^[7]。强对流过程是短时天气过程,发生于中小尺度天气系统,因此高时空分辨的 LAPS 再分析资料在强对流过程的分析中具有较明显的优势,正好弥补了 NCEP/ NCAR 等再分析场的缺陷。

2009 年 6 月 5 日,江苏全省出现雷雨大风、冰雹等强对流天气,陆上最大风力 7~11 级(楚州,31m/s);25 个台站出现冰雹,冰雹最大直径 5cm(丰县);全省雨量小到中等,部分地区大雨,降水分布不均、历时短、雨强大,沿江地区雨量较为集中,据自动气象站统计,有 2 站雨量在 50mm 以上;并且 16:30(北京时,下同)左右,徐州遭受了 30 年未遇的龙卷风袭击,风力达到 12 级以上,同时多个乡镇遭受不同程度的冰雹灾害。这次强对流天气的出现影响大,致使数百房屋倒塌、多人受伤,给人民的生命财产造成重大的损失。

本文主要以 2009 年 6 月 5 日 16:30—17:00 发生于江苏徐州的冰雹、龙卷强对流天气过程为例,根据常规天气观测资料提供的天气形势背景,利用 LAPS 分析场资料具体分析此次短时强对流的特征。

1 天气形势背景

强对流天气发生前,2009 年 6 月 5 日 08:00 在 500hPa 天气图(图 1)上中国东北地区有一冷涡,河套地区有一高压脊,

干冷空气从脊前南下,江苏位于高压脊前。随着冷空气的东移,东北冷涡的加强,不断地有冷空气补充南下,700hPa 上江苏仍受西北气流控制,而 850hPa 以下为暖区,这样中高层干冷、低层暖湿造成大气层结不稳定。图 1 中,棕色线段为 850hPa 切变线位置,可以看出河套东部的切变线辐合区正好与大气层结不稳定区相重合,低层的切变线辐合有利于产生上升运动,触发不稳定能量释放、产生对流,为强对流天气的产生提供了有利的大气环流条件。

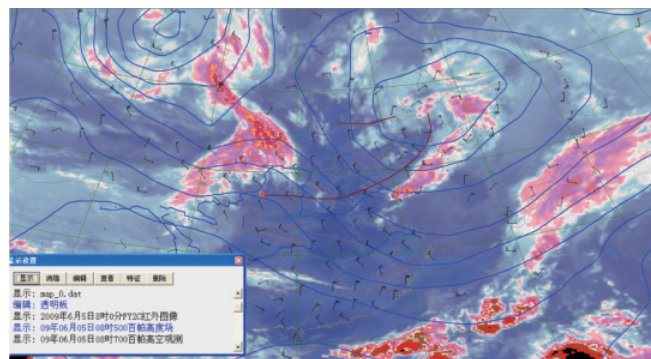


图 1 2009 年 6 月 5 日 08:00 500hPa 高度场、700 hPa 风场和红外云图的叠加图

Fig. 1 500hPa height fields, 700hPa wind fields, infrared cloud image at 08:00 on 5 June, 2009

2 LAPS 物理量场资料分析

由于本次过程生命史短,并且出现在天气图间隔之间,从常规资料分析很难反映其演变情况。考虑到 LAPS 能够输出空间分辨率 5km×5km、时间分辨率 3h 的分析场资料,且融合了雷达资料的 LAPS 分析场对强对流天气的动力结构具有更为精细的刻画能力^[8-9]。因此利用融合了雷达资料的 LAPS 再分析资料对本次过程的中尺度特征进行中尺度分析。

2.1 稳定度特征

K 指数和沙氏指数 S_i 是反映大气层结稳定性和湿度的物理量。当 $K>25$ 时,出现对流性天气的可能性较大。K 值越大,低空水汽越充沛,大气层结越不稳定;当 $K>30$ 时有出现

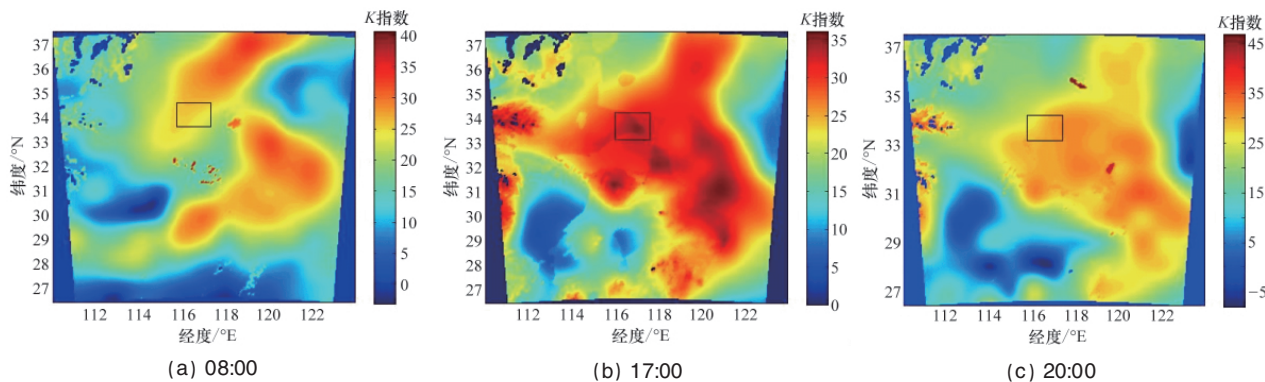


图 2 2009 年 6 月 5 日 08:00、17:00 和 20:00 LAPS 分析场 K 指数

Fig. 2 K index of LAPS analysis field at 08:00, 17:00 and 20:00 on 5 June, 2009

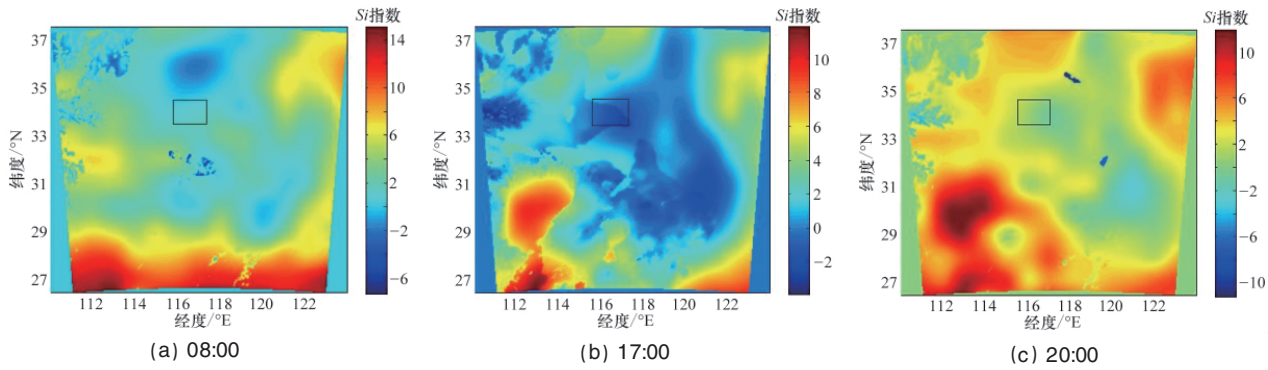


图3 2009年6月5日08:00、17:00和20:00 LAPS分析场沙氏指数

Fig. 3 Shawalter index of LAPS analysis field at 08:00, 17:00 and 20:00 on 5 June, 2009

强对流天气(短时暴雨、大风、冰雹)的可能。 S_i 是一个绝热抬升稳定度指标,当 $S_i > 0$ 时,大气层结稳定; $S_i < 0$ 时不稳定,易出现对流天气,并且随着负数的增加,对流天气的剧烈程度也在增加。

图2和图3是2009年6月5日08:00、17:00和20:00徐州站(34°15'N、117°11'E,图中矩形区域,下同)LAPS分析场的 K 指数和沙氏指数图。可以看出,08:00徐州站 K 约为25, S_i 约为1,徐州处于潜在不稳定能量区,有利于不稳定区域的能量积累。随着高空冷空气的东移,17:00(强对流发生时间段) K 明显增大, S_i 减小。在龙卷发生区域(徐州地区) K 值达35左右, S_i 约为-2,都达到了强对流天气的指标;20:00 K 指数已经明显减小, S_i 指数也增大为正值,说明此时徐州地区

的大气层结已经趋于稳定。

2.2 大气层结

图4是2009年6月5日08:00徐州站LAPS分析场沿34°15'N整层大气位温垂直剖面图以及800~1100hPa位温的垂直剖面图。分析位温垂直分布发现,徐州地区(沿117°11'E,下同)存在对流不稳定层结,对流层低层位温较高(图4(b)),整个对流层表现为上冷下热,具有明显的动力不稳定条件,为当日下午发生在此地的强对流天气提供了有力的能量环境场。

图5是2009年6月5日08:00和17:00LAPS分析场沿34°15'N相对湿度垂直剖面图。从08:00相对湿度剖面图中可以发现(图5(a)),徐州地区500hPa以下为一湿区,最大湿度

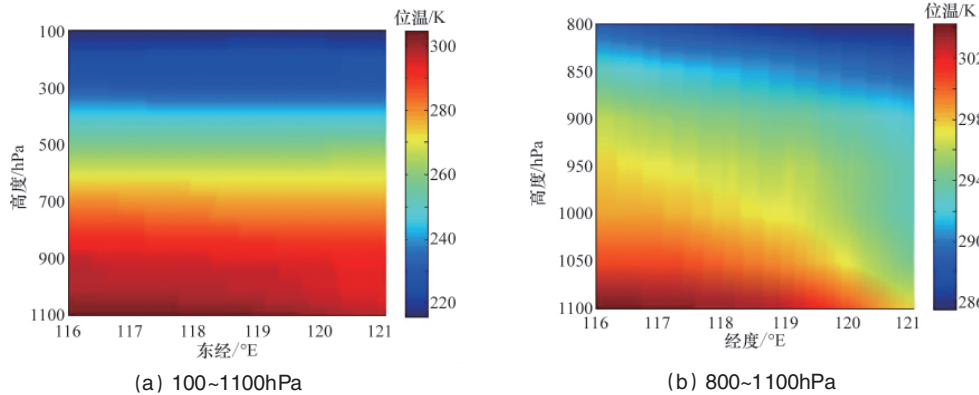


图4 2009年6月5日08:00 LAPS沿34°15'N位温垂直剖面

Fig. 4 Vertical cross-section of LAPS temperature along 34°15'N at 08:00 on 5 June, 2009

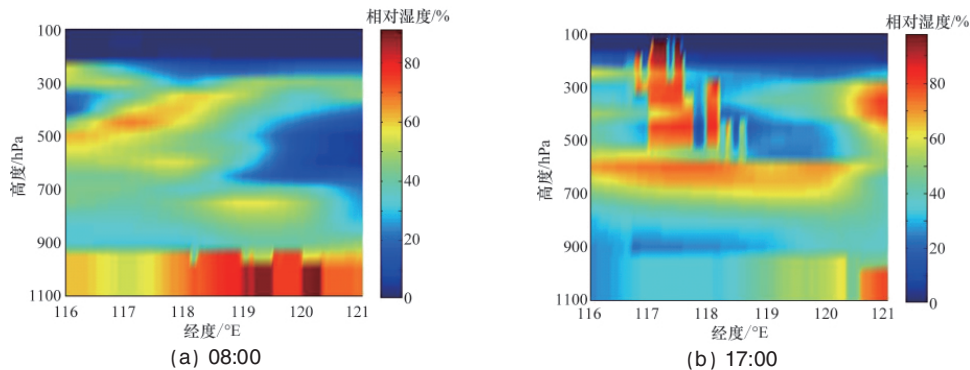


图5 2009年6月5日LAPS沿34°15'N相对湿度垂直剖面(100×)

Fig. 5 Vertical cross-section of LAPS relative humidity along 34°15'N on 5 June, 2009 (100×)

区域大于 60%, 100~300hPa 是相对湿度为 10%~30% 的干区, 这种干冷空气叠加在潮湿暖气流之上的配置易导致位势不稳定和强对流发展; 图 5(b) 是 17:00 相对湿度剖面图, 可以发现徐州地区对流层中上层为相对湿度大于 70% 的湿区, 说明水汽充足, 有利于强对流天气过程的维持。

2.3 散度场分析

许多观测事实都表明强风暴天气的发生与中尺度辐合的天气形势有关, 尤其是低层的辐合可以改变大气层结, 有利于水汽向上输送^[10-11]。图 6 是 2009 年 6 月 5 日 08:00 LAPS 沿 34°15'N 的散度垂直剖面图。可以看出, 在对流发生前, 600hPa 以下散度值为负值, 代表辐合运动区域; 对流层中上层散度值为正, 代表辐散运动区域, 这种低层辐合、高层辐散的配置有利于对流运动的产生和发展。

2.4 垂直速度

图 7 是 2009 年 6 月 5 日 17:00 700hPa 垂直速度 W 和 LAPS 分析场沿 34°15'N 垂直速度剖面图。其中, $W < 0$ 表示上升气流, 反之 $W > 0$ 表示下沉气流^[12]。如图 7(a) 所示, 徐州地区有 $-1 < W < 0$, 说明低层有强烈的上升气流, 对应 LAPS 分析场沿 34°15'N 垂直速度 W 的剖面(图 7(b)), 可以直观地看到徐

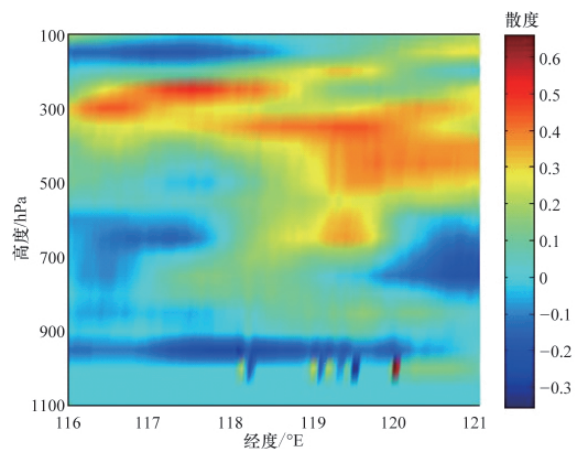


图 6 2009 年 6 月 5 日 08:00 LAPS 沿 34°15'N 散度垂直剖面

Fig. 6 Vertical cross-section of LAPS divergence along 34°15'N at 08:00 on 5 June, 2009

州地区的强烈上升气流区一直延伸至高空 300hPa, 正好对应同时段徐州地区的冰雹、龙卷强对流天气, 说明强烈的上升气流有利于强对流的发生发展。

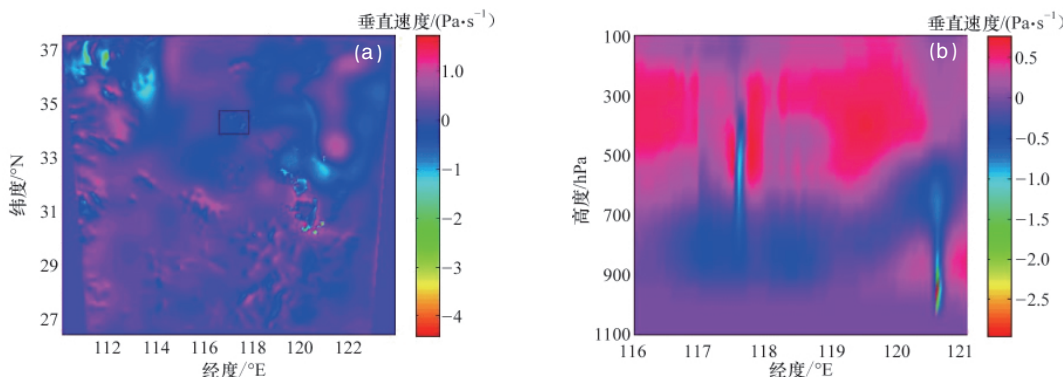


图 7 2009 年 6 月 5 日 17:00 700hPa 垂直速度(a)和沿 34°15'N 垂直速度剖面(b)

Fig. 7 Vertical velocity at 17:00 on 5 June, 2009 700hPa (a), and vertical cross-section of along 34°15'N (b)

2.5 可降水量总和

图 8 是 2009 年 6 月 5 日 17:00 和 20:00 LAPS 分析场的可降水量总和, 从图中可以清楚地看到 17:00 徐州地区的可

降水量总和大于 20:00 的可降水量总和。而 17:00 正是强对流发生的时间段, 20:00 强对流趋于消散, 但仍有降水持续, 因此降水量比 17:00 偏少, 但减小的量不太多。

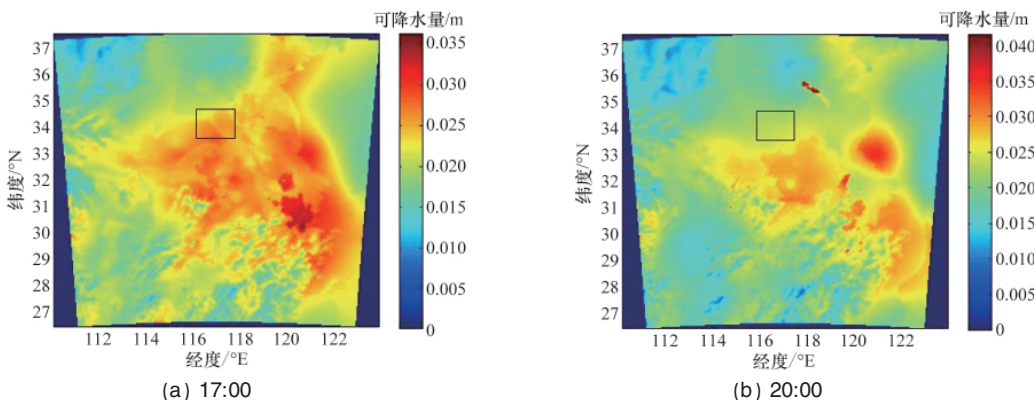


图 8 2009 年 6 月 5 日 LAPS 分析场的可降水量总和

Fig. 8 Integrated total precipitable water of LAPS analysis field on 5 June, 2009

2.6 云内液水和冰晶含量分布

图 9 是 2009 年 6 月 5 日 17:00 LAPS 分析场沿 34°15'N 云水含量和云冰含量的垂直剖面图,17:00 为强对流发生的时间段。由 17:00 云水含量剖面图(图 9(a))可以看到,在对流发生地区的上空云水含量十分丰富,同时在云冰含量剖面图上可以发现在徐州区域的对流层中高层云冰含量较大。这说

明在充足的水汽条件下,大量的水汽被上升气流带到零度层以上,并凝结形成冰晶。另外一方面,大量的水汽在凝结过程中释放出潜热,对上升气流有增强的作用,从而促使更多的水汽在高层凝结成冰晶。因此,此处的对流活动极其旺盛,为冰雹易发区。通过与实况对比也发现,这一区域与冰雹发生区有很好的对应关系。

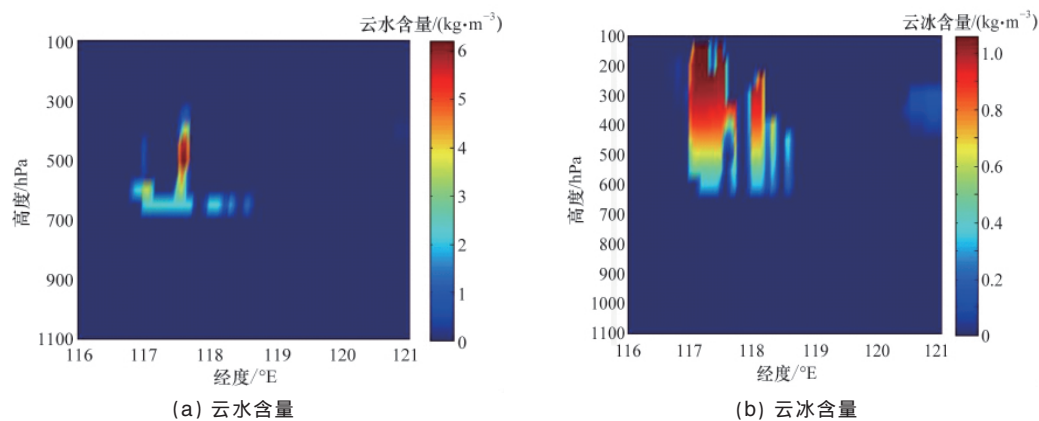


图 9 2009 年 6 月 5 日 17:00 LAPS 沿 34°15'N 垂直剖面

Fig. 9 Vertical cross-section of LAPS along 34°15'N at cloud liquid water and cloud ice 17:00 on 5 June, 2009

2.7 地面实况

图 10 是 2009 年 6 月 5 日 16:00 和 17:00 地面填图。可以看出,16:00 徐州地区没有风速显示,而 17:00 风速突然增大到 8m/s,且沛县有强对流天气出现,与前面分析的时段徐州强对流的发生区域相对应,说明强对流发生时 LAPS 分析场的物理量特征能较好地反映实况天气形势。

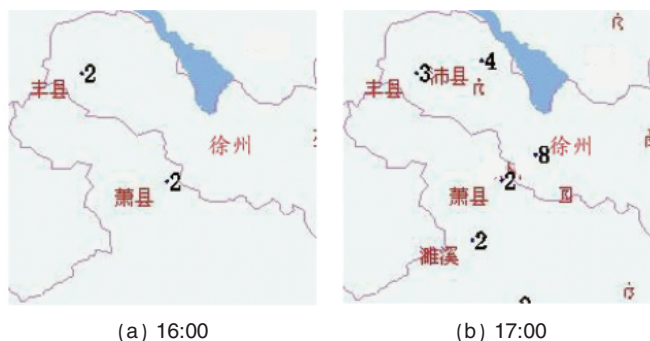


图 10 2009 年 6 月 5 日地面填图(单位:m/s)

Fig. 10 Ground map spotting on 5 June, 2009 (unit: m/s)

3 结论

本文应用 LAPS 分析场中的物理量,分析了冰雹、龙卷强对流天气过程的中尺度特征。由于 LAPS 融合了多种探测资料,并且时间和空间分辨率较高,因此 LAPS 分析场多种物理量能够较好地反映出对流发生前的潜势,为预报对流天气提供依据。另外,在对流发生时,其物理量特征与实况也有比较好的对应,与冰雹、龙卷的发生区域基本一致,由此可以看出 LAPS 资料在预报中小尺度对流系统方面有着比较大

的优势。

通过对稳定度指数、大气层结、散度场、垂直速度、可降水量总和,以及云内液水和冰晶含量分布等方面的分析,得出结论如下:

(1) 对流发生时,大气处于不稳定状态。14:00—17:00 K 指数显著升高达到了 35 左右;而 S_i 指数则明显减小约为 -2。两稳定度指数均表明,此时大气处于不稳定的状态,容易触发和加强对流。

(2) 动力不稳定条件,为强对流天气提供了能量;而充足的水汽条件,有利于强对流的维持。整个对流层表现为上冷下热的分布,使得在动力上容易触发和加强对流。而对流层中上层为相对湿度大于 70% 的湿区,则为于强对流天气过程维持提供了充足的水汽条件。

(3) 低层辐合、高层辐散的配置有利于对流运动的产生和发展。

(4) 强对流发生时,会伴随强烈的上升气流。

(5) 从可降水量和水成物分布可以很好的识别出降水区和冰雹发生区。

致谢 灾害天气国家重点实验室淮河流域中尺度观测与应用试验基地为本研究提供了 LPAS 数据产品,在此表示感谢。

参考文献 (References)

- [1] 黄刚. NCEP/NCAR 和 ERA-40 再分析资料以及探空观测资料分析中国北方地区年代际气候变化 [J]. 气候与环境研究, 2006, 11 (3): 310-320.
Huang Gang. *Climatic and Environmental Research*, 2006, 11 (3): 310-320.
- [2] 韩荣青, 李维京, 胡国权, 等. GAME 再分析资料与 NCEP 再分析资料

- 在 1998 年 HUBEX 试验期的对比分析[J]. 应用气象学报, 2004, 15(2): 141-151.
- Han Rongqing, Li Weijing, Hu Guoquan, et al. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 2004, 15(2): 141-151.
- [3] 郑永光, 陈炯, 费增坪, 等. 2003 年淮河流域持续暴雨的云系特征及环境条件 [J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2006, 1(2): 1-9.
- Zheng Yongguang, Chen Jiong, Fei Zengping, et al. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2006, 1(2): 1-9.
- [4] 吴建美, 张勇, 张宇. 淮河流域大暴雨特征分析[J]. 河北农业科学, 2009, 13(7): 84-88.
- Wu Jianmei, Zhang Yong, Zhang Yu. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2009, 13(7): 84-88.
- [5] 李红莉, 崔春光, 王志斌. LAPS 的设计原理、模块功能与产品应用[J]. 暴雨灾害, 2009, 28(1): 64-70.
- Li Hongli, Cui Chunguang, Wang Zhibin. *Torrential Rain and Disasters*, 2009, 28(1): 64-70.
- [6] 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.
- Cui Chunguang, Li Hongli, Peng Juxiang, et al. *Torrential Rain and Disasters*, 2008, 27(4): 307-312.
- [7] 周后福, 郭品文, 翟菁, 等. LAPS 分析场资料在暴雨中尺度分析中的应用 [J]. 高原气象, 2010, 29(2): 461-470.
- Zhou Houfu, Guo Pinwen, Zhai Jing, et al. *Plateau Meteorology*, 2010, 29(2): 461-470.
- [8] 刘志雄, 戴泽军, 彭菊香, 等. 基于 LAPS 的一次局地强冰雹过程分析[J]. 暴雨灾害, 2009, 28(4): 313-320.
- Liu Zhixiong, Dai Zejun, Peng Juxiang, et al. *Torrential Rain and Disasters*, 2009, 28(4): 313-320.
- [9] 李红莉, 崔春光, 王志斌, 等. 中尺度分析系统 LAPS 应用雷达资料的个案研究 [J]. 高原气象, 2009, 28(6): 1443-1452.
- Li Hongli, Cui Chunguang, Wang Zhibin, et al. *Plateau Meteorology*, 2009, 28(6): 1443-1452.
- [10] 李红莉, 张兵, 陈波. 局地分析和预报系统 (LAPS) 及其应用[J]. 气象科技, 2008, 36(1): 20-23.
- Li Hongli, Zhang Bing, Chen Bo. *Meteorological Science and Technology*, 2008, 36(1): 20-23.
- [11] Hiemstra C A, Liston G E, Pielke Sr R A, et al. Comparing local analysis and prediction system (LAPS) assimilations with independent observations [J]. *Weather and Forecasting*, 2006, 4: 1024-1040.
- [12] Birkenheuer D. The effect of using digital satellite imagery in the LAPS moisture analysis [J]. *Weather and Forecasting*, 1999, 11: 782-788.

(责任编辑 朱宇)

·学术动态·

“2011 农业工程新技术国际学术会议”征文

中国农业工程学会将于 2011 年 5 月 27—29 日在山东省淄博市召开“2011 农业工程新技术国际会议”。

征文内容:

1) 农业工程新技术、新进展;保护性耕作技术及机具研究;变量施肥及精确喷药技术;复式中耕作业及除草机械;联合收获机减振、优化、可靠性及智能化设计技术;经济类作物联合收获技术与机具;林果采集、秸秆收集及高效生态化利用技术;设施农业控制、高产新技术;种子清选、加工、干燥、贮藏新技术;生物系统虚拟建模与可视化仿真研究;农业装备虚拟样机、虚拟试验及可靠性设计方法;生物芯片、生物传感器和生物仪器的智能设计;精准农业技术、装备与仪器;大中型拖拉机及配套机具的设计、制造及运用;汽车、发动机和农业装备中的节能及智能计算。

2) 支撑低碳农业及可持续发展的农业工程新技术;土壤有机碳库组分、有机碳的稳定性与农田生产力;循环型农业工程技术;节水灌溉及农业节能减排新技术;提高农业装备作业效率的技术、措施及模式;生态农业、绿色农业、有机农业、观光农业等新模式。

3) 太阳能、风能、生物质能利用新技术;太阳能建筑、温室及光伏发电技术;风光互补发电系统及风能独立发电系统;大型风力发电机设计、控制及并网技术;生物质能利用新技术(秸秆、能源作物、林木、海藻等生物质能源转化应用原理与技术)。

4) 食品及农产品品质分析及质量安全检测控制新技术;色谱技术在食品、农产品检测分析中的应用;质谱技术在食品、农产品检测分析中的应用;光谱技术在食品、农产品检测分析中的应用;食品、农产品的生物检测方法;食品、农产品快速检测技术及可追溯系统研究与应用;食品、农产品加工新技术。

征文截止时间:2011 年 2 月 20 日。

联系方式:山东省淄博市张周路 12 号山东理工大学农业工程与食品科学学院(255049);传真:0533-2786896;电子信箱:aent2011@gmail.com。

“第九届国际可靠性、维修性、安全性会议”征文

中国现场统计研究会将于 2011 年 6 月 12—16 日在贵州省贵阳市召开“第九届国际可靠性、维修性、安全性会议”。

征文内容:可靠性、安全性理论及其应用;可靠性、安全性管理;可靠性、维修性、安全性设计和分析;可靠性试验及验证;可靠性设计方法和工具;概率风险评估方法;高价速应力测验;加速寿命试验;贮存可靠性;故障诊断技术;软件可靠性;软件安全性。

摘要截稿日期:2011 年 1 月 31 日。

联系方式:北京石龙经济开发区永安路 1 号(102308),邓周灰;电话:15885019114;传真:010-60806888;电子信箱:icrms2011@geu.edu.cn。

会议网站:www.icrms.cn。