

向玉春,杨军,李红莉,等. LAPS 资料在人工影响天气中的应用初探.暴雨灾害,2009,28(3):271-276.

LAPS 资料在人工影响天气中的应用初探

向玉春^{1,2},杨 军¹,李红莉³,姚望玲⁴,袁正腾²,陈 波³

(1.南京信息工程大学,南京 210044; 2.湖北省人工影响天气办公室,武汉 430074;
3.中国气象局武汉暴雨研究所,武汉 430074;4.武汉市气象局,武汉 430040)

摘 要:通过对 LAPS 资料应用于人工影响天气的作业天气预测、作业条件判别、作业技术参数确定、效果评估以及云降水数值模拟研究的可行性分析,初步探讨了其应用方法;以个例分析了 LAPS 的温度场、高度场资料、水汽、云宏/微观产品以及衍生的对流有效位能、抬升指数、对流抑制能量等物理量资料对防雹作业天气过程的预测潜力及其在人工增雨作业服务中的应用效果。结果表明: LAPS 资料提供的物理量产品可为人工影响天气作业指挥提供高时空分辨率的数据信息,在防雹作业天气预测上具有一定优势,并可方便准确地确定增雨作业区域、催化部位和催化剂量,从而增强作业方案设计的科学性和可操作性。

关键词:LAPS;人工影响天气;对流有效位能;催化区域;作业剂量

中图分类号:P48 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2009)03-0271-06

1 引言

通过对在大尺度天气背景下发展的中尺度天气系统中某些合适的中小尺度云降水过程以及云的微物理过程施加人工影响,可以实现人工增水、消雹、消雾等防灾减灾目的。作业时机、作业部位的把握和作业效果的评估等工作对人工影响天气业务的发展至关重要,而这些工作必须建立在云和降水的宏观、微观结构的监测预报基础上。随着多普勒雷达、气象卫星、微波辐射计、GPS/Met、双偏振雷达等探测资料以及数值模式在人工影响天气业务中的广泛应用,国内科研业务工作者在其应用研究方面取得了不少有意义的成果。如刘黎平^[1]、王勇^[2]、袁野^[3]、王黎俊^[4]等分别开展了雷达、卫星、GPS、微波辐射计等在人工影响天气和云物理中的应用研究,由于各地观测条件不同,观测设备布点的空间分辨率太小,这些研究不能完全满足人工影响天气业务指导和需求。

武汉暴雨研究所引进了 NOAA 开发的局地分析预报系统(LAPS,Local Analysis and Prediction System),并成功地进行了本地化移植^[5-6],李红莉等^[5]通过比较 NCEP 分析场和 LAPS 分析场 850 hPa 的高度场、温度场、相对湿度场以及风场等基本物理量,发现二者在形势上基本一致,局部 LAPS 略优,且对风场及湿度场的改善较明显。崔春光等^[7]应用 LAPS 资料分析了一次暴雨天气过程,发现其因产品丰富、时效性好能较为深刻地揭示强降水过程的发生、发展机理。该系统将不同格式的资料包括 T213 或 NCEP、多普勒雷达、卫

星、GPS/Met、微波辐射计、探空及自动站等多种资料融合同化到 LAPS 网格上,除提供温度、湿度、风、云等常规产品外,还包括 K 指数、抬升指数、对流有效位能等衍生物理量产品,其空间分辨率可从 1~48 km,时间分辨率可达 1 h,由于其高精度的时空分辨率,不仅为人工影响天气业务服务和云物理研究提供直观而有效的中尺度分析场,还可为人工影响天气和云降水数值模式提供更加精细的初始场,继而提高对人工影响天气作业对象——云降水结构的认识水平,使人工影响天气作业科技水平和服务能力提高成为可能。

2 LAPS 业务化产品简介

武汉暴雨研究所业务运行的 LAPS 系统垂直层数 21 层,顶层为 100 hPa,每层间隔 50 hPa,水平格距取 10 km×10 km,分析区域的中心位于 30.0°N、113.0°E。LAPS 系统不仅给出一些基本物理量的分析场资料,还可提供一些由分析量导出的衍生产品,包括高度、风、温度、垂直速度、相对湿度、比湿、反射率、云量、云分类、云水含量、云冰、雪含量、雨水含量、云底高度、云顶高度、可降水量、液态水含量、抬升指数、对流有效位能、对流抑制能量、肖沃特指数、K 指数、抬升凝结高度等 33 种产品。目前,该系统每天输出 8 个时次(08、11、14、17、20、23、02、05 时)的再分析资料。

3 LAPS 资料在人工影响天气中应用的可行性分析

3.1 作业天气预测

作业天气预测是开展人工增雨和防雹作业的前

收稿日期:2009-07-20;定稿日期:2009-08-20

作者简介:向玉春,女,1977 年生,工程师,主要从事人工影响天气业务和研究工作。E-mail: xiang_yuchun@hotmail.com

提。LAPS 高度场、风场、温度场、湿度场、垂直速度、水汽等资料可用于增雨作业天气预测。而抬升指数、对流有效位能、对流抑制能量、肖沃特指数、 K 指数等对冰雹等强对流天气过程具有很好的指示意义^[8]。通常这些物理量参数由探空资料计算,但由于常规探空资料时空分辨率较低,且冰雹局地性强且时间短,因此应用 LAPS 系统提供的这些物理量场资料用于防雹作业天气预测具有时空上的优势。可以通过统计分析冰雹天气过程 LAPS 输出的物理量场资料,找出与降雹高相关的因子及其变率特征,建立冰雹潜势预报指标和冰雹预报方法,开展防雹作业天气预测。

3.2 增雨作业条件识别

云层较厚,有持续上升气流,云底较低,过冷云层较厚、有过冷水等,是层状云人工增雨的条件^[9]。我国在多年的试验和业务作业中^[10],通过机载粒子测量系统、雷达、探空、云图、微波辐射计等观测,分析得出北方部分省份飞机人工增雨作业云系可播宏观、微观参考指标。即:云底高度 <2 km,云顶高度 $>4\sim 6$ km,云体厚度 >2 km,过冷层厚度 >1 km,云顶温度在 $-4\sim -24$ °C 之间,总的液态水含量 >0.3 mm,云中过冷水 $>0.1\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$;积状云播云指标为:云底高度 <1 km,云顶高度 >5.5 km,云体厚度 >1.5 km,过冷层厚度 >1 km,云顶温度在 $-5\sim -10$ °C 之间。国外积云催化试验结果表明^[10],积云增雨条件是,较强的上升气流,较大的云中含水量(最大 $1\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)并能持续相当长时间,云层较厚。由于探测设备的不足,我国大多数省份仅能应用其中几个指标判别作业条件,且在空间分布上难以满足全省作业的需求。

基于以上原因,利用 LAPS 资料分析降水天气过程的云底高度(l_{cb})、云中温度、云顶高度(l_{ct})、云层厚度(D_c)、垂直速度(w)、液态水含量(L_{li})、过冷层厚度(D_{cs})和过冷云水含量(L_{ils})等,建立基于 LAPS 的作业条件指标,可全面判别全省范围内的增雨作业条件,指挥人工增雨作业更有优势。其中,LAPS 资料中有云底高度、云顶高度、温度、垂直速度和总的液态水含量产品,另外的参数可由 LAPS 资料计算得出。即:

$$D_c = l_{ct} - l_{cb} \quad (1)$$

$$D_{cs} = l_{ct} - h_0 \quad (2)$$

$$h_0 = h_{l_{t<0}} - (h_{l_{t<0}} - h_{m>0})/2 \quad (3)$$

$$L_{ils} = \sum_{l < 0} l_{wc} \quad (4)$$

式(2)~(3)中, h_0 为 0 °C 层高度, $h_{l_{t<0}}$ 为 0 °C 以下第一层高度, $h_{m>0}$ 为 0 °C 以上最后一层高度。式(4)表示 L_{ils} 为 0 °C 以下各层的云水含量(l_{wc})之和。

3.3 作业技术参数确定

(1)用 LAPS 资料确定催化部位。以往的研究结果

表明,层状云催化作业应选择在云中温度低的过冷水区播撒^[9];冰面过饱和度大的区域过冷水含量丰富,应用探空资料计算冰面过饱和度垂直分布可确定催化部位^[11];积云催化区域在云中上升气流最大值附近,应用雷达判别位于回波中心部位的效果较好^[12-13]。LAPS 资料分析产品中包括云水含量、垂直速度等产品,通过这些产品可以直观确定催化部位,即选择 0 °C 以下云水含量大(即过冷水云含量大)、上升速度大的区域进行催化。

(2)用 LAPS 资料估算催化剂量。在计算人工增雨防雹作业区的用弹量(N)时,必须知道作业区的体积(V)以及催化剂的浓度(P)^[14]。作业区域体积(V)可根据 LAPS 资料云水含量、高度、温度和液态水含量等产品计算得出。其计算公式为

$$V = \int S dh = \iiint dx dy dh \quad (5)$$

式(5)中,分增雨和防雹两种情形:1)当计算增雨作业区域体积时, S 为总的液态水含量(或过冷水云含量)较大的区域面积,对 h 的积分范围从 0 °C 层高度到云顶;2)当计算防雹作业区域体积时, S 为过冷水云含量较大^[15]的区域面积,对 h 的积分范围为从 -5 °C 层高度^[16]到云顶。 S 可根据 LAPS 资料格距(10 km)积分求和得到。

式(6)表示火箭弹用弹量(N)为作业区域需要的总的冰晶数除以每枚火箭弹的冰核数。

$$N = (V \times M) / P \quad (6)$$

M 为催化后应达到的冰晶数浓度,层状云(20~100 个/ l)^[9-10]和对流云(300~500 个/ l)^[17]的取值不同。催化剂浓度 P 的取值与运载工据有关,对于不同型号的火箭、高炮,其催化剂的成核率不同,携带的催化剂剂量也不同。

3.4 作业效果评估

人工增雨效果的物理检验包括云的微物理效应(如液态含水量等)和动力学效应(上升气流速度、云体厚度、云内温度分布等)的检验^[10]。LAPS 资料中可降水量、液态水含量、云水含量、云顶高度、云底高度、温度、垂直速度等产品可为层状云人工增雨作业效果物理检验提供依据。具体作业效果的评估,可通过分析催化前后所观测到的参数变化(称自身比较)或用对比分析催化云、对比云参数值来进行。

3.5 人工影响天气数值模式应用

常规探空资料常用于中小尺度云降水和人工影响天气数值模式初始场^[18],但由于其时空分辨率低(如湖北省仅 3 站、12 小时探测 1 次),在实际应用中存在不足,制约了中小尺度云降水和人工影响天气数值模

式的业务化。LAPS 资料可为中小尺度云降水和人工影响天气模式提供更为精细的初始场。云模式一般认可探空资料和格点场资料两种初始资料,因此应用 LAPS 资料作为初始场时有两种途径:一是将 LAPS 产品数据处理成与探空资料相同的格式;二是直接应用 LAPS 格点资料。而 LAPS 可直接输出 MM5 等中尺度模式的初始场资料^[5],在 MM5 框架下建立的云分辨率模式^[19]可使用 LAPS 资料作为初始场。LAPS 资料还可用于检验中小尺度云降水和人工影响天气数值模式结果。

综上所述,LAPS 资料可为人工影响天气作业预测、作业条件判别、作业技术参数确定、作业效果评估和人工影响天气数值模式提供高时空分辨率分析数据,可弥补用分散、单一的探测资料指挥人工影响天气作业之不足,从而增强人工影响天气业务和服务能力。

4 LAPS 资料在防雹和增雨中的应用举例

4.1 在防雹作业天气预测中的应用

大气不稳定能量的释放是对流性天气发生发展

所需能量的主要来源。对流有效位能 $CAPE^{[18]}$ 表示在自由对流高度之上,气块因正浮力做功而获得的能量。 $CAPE$ 比传统意义上的对流不稳定能量更能恰当地表示出对流发展的强度,它作为对流发展的重要标志已被直接或间接地投入到气象业务中使用。廖晓农等^[20]分析了 1969 年 8 月 29 日出现在北京的一次罕见大雹事件,结果发现,强对流之前,北京上空 $CAPE$ 数值陡增。

根据冰雹灾情统计资料,湖北恩施地区 2008 年 7 月 27 日(恩施、巴东、建始 3 个县市)、28 日(建始、咸丰 2 个县市)均在 16-18 时之间出现冰雹天气,冰雹直径达 2~3 cm。图 1 给出恩施多普勒雷达 7 月 27 日 16 时 17 分和 28 日 16 时 33 分(均为回波发展最强时刻)仰角为 0.5°、1.5°、2.4°、3.4°的 PPI 图。从中看出,回波强中心均在 60 dBz 以上,且回波梯度均较大;强回波中心分别向东偏北方向和东偏南方向倾斜,说明此时对流云发展旺盛,具有明显的冰雹回波特征;28 日的回波强度及梯度均比 27 日的大,说明 28 日降雹强度比 27 日的要大。

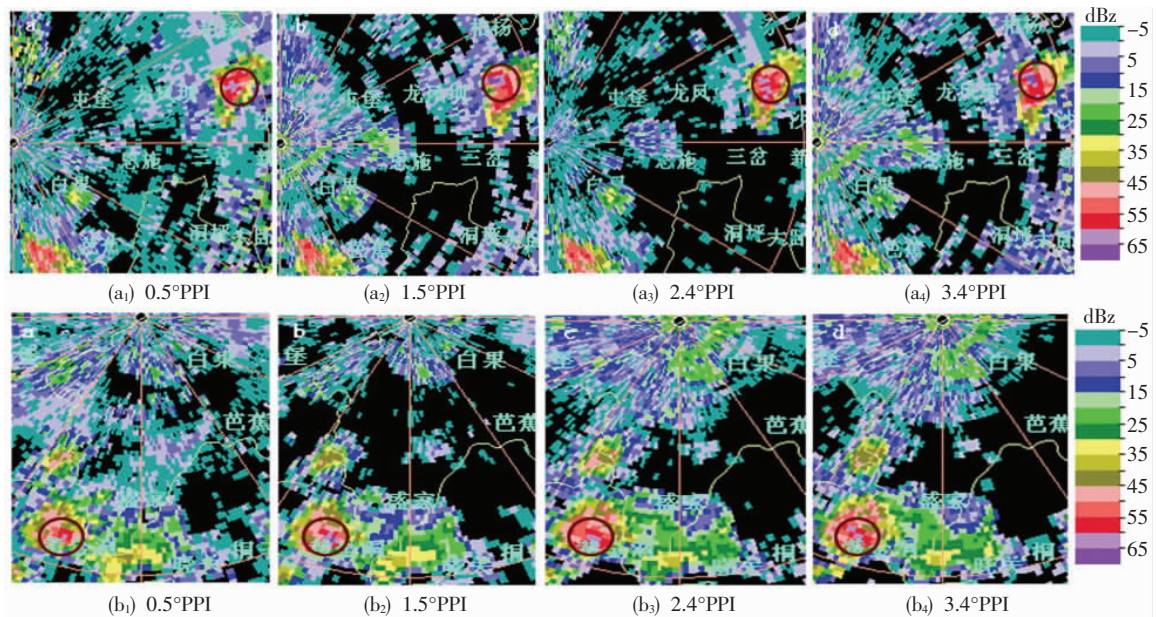


图 1 恩施多普勒雷达 2008 年 7 月 27 日 16 时 17 分(a)、28 日 16 时 33 分(b)不同仰角 PPI 图(圆圈为强回波中心)

这里,采用 LAPS 资料中的 $CAPE$ 以上述两次冰雹天气过程为例,分析其在防雹作业天气预测中的应用潜力。图 2 给出冰雹发生前后恩施站对流有效位能(C_{APE})的时间演变。

从图 2 中可见,两次冰雹过程的 C_{APE} 值都比较大,且发生前 C_{APE} 均陡增,而冰雹发生后 C_{APE} 陡降,说明冰雹过程中对流能量的聚集、释放过程非常明显且快。24 日 08 时至 27 日 02 时对流能量较小,有比较小的波动,27 日 02 时 C_{APE} 为 $312 J \cdot kg^{-1}$,且与前一时刻相比是减小的;此后 C_{APE} 一直上升,所以可将这一时

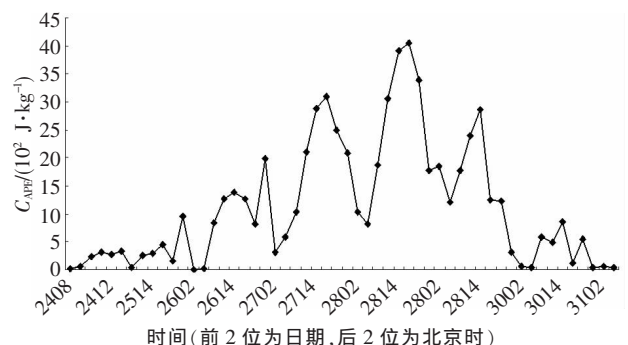


图 2 恩施地区 2008 年 7 月 27、28 日 2 次冰雹前后恩施站 LAPS 对流有效位能(单位: $10^2 J \cdot kg^{-1}$)时间变化

次作为第一次过程的起始时间,到 17 时对流能量达到峰值 $3\ 094\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ (由于没有 16 时的分析资料,也有可能是 16 时达到峰值),16—18 时下了冰雹;此后 C_{APE} 下降,至 28 日 05 时降为 $828\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$;之后 C_{APE} 上升,至此 27 日冰雹天气过程的能量聚集和释放基本结束,即在 27 h 内全部完成。同理,将 28 日 05 时作为当日冰雹过程的起始时次,则 C_{APE} 在 12 h 内达到峰值,至 28 日 17 时, C_{APE} 达到 $4\ 059\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$;此后 C_{APE}

下降,其中 27 日 23 时至 28 日 02 时 C_{APE} 有小幅上升(由 $1\ 779\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 上升为 $1\ 852\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$),这可能是由于能量补充引起的反复;其之后又下降,至 29 日 05 时 C_{APE} 降为 $1\ 207\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$,故将 29 日 05 时视为第二次过程的结束时刻。因此 28 日冰雹天气过程 24 小时内完成对流能量的聚集、释放。

同样地,分析了这两次冰雹过程 LAPS 输出的表征不稳定能量的抬升指数(Li)、对流抑制能量(CIN)、肖

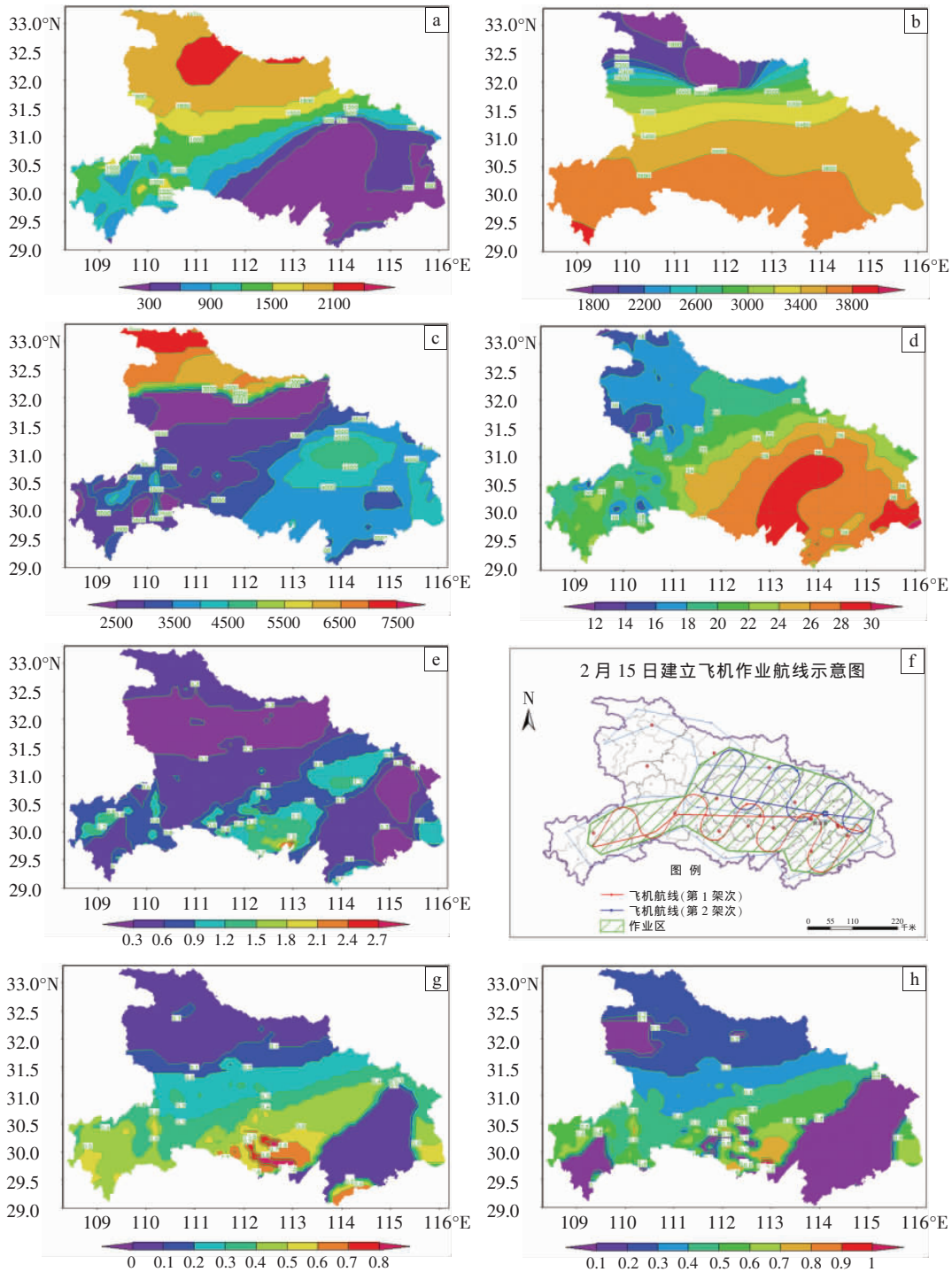


图 3 2009 年 2 月 15 日 11 时 LAPS 分析及作业区域图

- (a) 云底高度(m); (b) 0 °C层高度(m); (c) 云厚(m); (d) 可降水量(mm); (e) 总的液态水含量(mm);
- (f) 作业区域设计图; (g) 750 hPa 过冷层云水含量($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$); (h) 700 hPa 过冷层云水含量($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

沃特指数(Si)以及K指数的变化。结果发现,Li、CIN变化有一定规律性,其中Li与CAPE一样,对降雹前和降雹过程中的不稳定能量有很好的指示作用;其次是CIN,也很好地反应出降雹前能量的聚集程度。

两次冰雹过程能量的聚集释放分别是在27 h、24 h内完成,每次过程只有2个时次(08、20时)的探空资料,因此不能反应冰雹过程的能量变化。因此,根据LAPS的对流有效位能、抬升指数、对流抑制能量等物理量及其变化特征,可预测防雹作业天气,且与探空资料相比,其时空上的优势较为明显。

4.2 在增雨作业指挥中的应用

4.2.1 用于确定作业区域和催化部位

在2009年2月湖北省人工增雨抗旱作业服务中,正是应用LAPS资料确定的作业区域、作业高度和催化剂量。图3给出当年2月15日11时(北京时间)LAPS分析图及作业区域图。

从图3中可见,2月15日11时,湖北省境内31.5°N以南大部分区域内,云底高度在300~1 800 m之间(图2a),云顶高度在3 500~4 500 m之间,云体厚度在2 500~3 500 m之间(图2c),可降水量较大(图2d),总的液态水含量除鄂东小部地区以外,其他地区均在0.3 mm以上(图2e),0℃层高度在2 600~3 800 m之间(图2b),区域内云水含量较大,云水含量集中在800—650 hPa,而过冷云水集中在750—650 hPa之间(即2 500~3 700 m之间),则大部分区域过冷层厚度在1 200 m以上(图2g、h)。基本符合第3.2节中所述飞机人工增雨作业云系可播性参考指标,且这一区域面积较大,因此,适合开展飞机人工增雨作业,据此做出飞机增雨作业飞行催化路线图(图2f),将最佳催化部位选在0℃以下的过冷水区,即2 600~3 700 m之间。可见,应用LAPS资料的云体厚度、云顶高度、云底高度、温度、液态水含量、过冷水分布等宏(微)观信息,可增强飞机作业方案设计的科学性和可操作性。

4.2.2 用于火箭增雨催化剂量的计算

利用2月15日11时的LAPS资料计算液态水大值区的火箭增雨催化剂量。催化后冰晶数浓度取 M 为100个/l,WR型火箭弹在-10℃时AgI成核率为 $1.8 \times 10^{15}/g$,而每枚火箭弹中装有10 g AgI催化剂,则催化剂浓度 P 为 1.8×10^{16} 个/枚。取图2e中液态水含量值大于1.2 mm的范围内(112.5°E、30°N附近)750 hPa过冷云水含量大于 $0.8 g \cdot m^{-3}$ 的区域,面积为150 km²(由于层云自然降水中冰晶数浓度在几个到十几个之间,计算时可忽略)。根据式(5)、(6)计算火箭增雨用弹量,即:

$$N = \frac{V \times M}{P} = \frac{S \times \Delta h \times M}{P} = \frac{300 \times 10^{12} \times 100}{1.8 \times 10^{16}} = 1.67 \text{ (枚)}$$

取整数,火箭用弹量为2。由于火箭是线源播撒,在实际作业时一般达不到催化剂全部核化的理想状态,故在参考计算值的基础上可适当增加火箭弹的发射量。可见,LAPS资料计算催化剂量非常方便且实用,从而弥补了作业剂量计算上的不足。

5 小结

(1)LAPS资料具有产品丰富、时空分辨率高的特点,尤其是针对人工影响天气作业对象——云的分析优势较为明显,可用于人工影响天气的作业天气预测、作业条件识别、作业技术参数确定、作业效果评估以及云降水数值模拟研究等环节,从而弥补了现阶段人工影响天气作业指挥中的不足,在发展现代人工影响天气业务上前景广阔。

(2)LAPS资料显示,恩施地区2次冰雹过程分别在27 h和24 h内完成能量的聚积、释放,对流有效位能、抬升指数、对流抑制能量变化明显且呈现一定的规律性,对冰雹过程能量的聚集、释放具有很好的指示作用;与探空资料相比,LAPS中尺度分析场对于局地性强且发生时间短的冰雹天气过程的预测和分析具有优越性;LAPS资料和多普勒雷达资料相结合,可提高冰雹预测预警的精细过程度,从而使人工防雹作业更加科学、高效。

(3)LAPS资料在2009年湖北省增雨作业中的应用表明,采用其温度、高度、总的液态水含量、云水含量、垂直速度等产品,可准确快速地选择增雨作业区域、确定催化高度、估算催化剂量,增强作业方案设计的科学性和可操作性,达到了科学指挥人工增雨作业的目的。

本文对LAPS资料在人工影响天气中的应用进行了初步探讨,至于如何进一步挖掘LAPS资料在人工影响天气和云降水结构研究等方面的应用潜力,还有待于今后开展更为全面而深入的研究。

参考文献:

- [1] 刘黎平,邵爱梅.新一代可移动式天气雷达在人工影响天气中的应用研究[J].暴雨灾害,2007,26(1):40-45.
- [2] 王勇,段昌辉,徐军昶,等.气象卫星资料在飞机人工增雨效果评估中的应用[J].气象,2002,28(11):26-28.
- [3] 袁野,王成章,蒋年冲,等.不同云天条件下水汽含量特征及其变化分析[J].气象科学,2005,25(4):394-398.
- [4] 王黎俊,孙安平,刘彩红.地基微波辐射计探测在黄河上游人工增雨中的应用.气象,2007,33(11):28-33.
- [5] 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):20-24.
- [6] 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.
- [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