广州机场终端区 4.30 飑线过程分析及短时临近预报试验

黄奕铭¹ 谢文锋 王刚 曹正

(民航中南空管局气象中心,广州市,广东省510405)

摘要:本文通过常规观测、多普勒雷达、风廓线雷达、卫雷资料和数值模拟方法对 2013 年 4 月 30 日发生在广州机场终端区的飑线过程的发展和结构进行分析,结果表明:此次飑线过 程是在高空槽东移带动地面弱冷空气南下,中上层的干空气与中低层的暖湿气流在华南上空 交汇形成,850hpa 切变线和 700hpa 的高空槽是最直接的影响系统。WRF 模式能比较好地模 拟出这次飑线过程的发展变化过程,模拟的位置、移向、移速和强度与观测结果十分接近, 对于广州机场终端区对流预报系统的设计有很好的参考价值。此次飑线过程有非常明显的地 面冷池,在飑线发展的不同阶段雷暴高压的分布有不同特征,发展阶段出现在整个飑线的下 方及期后部,而在成熟阶段其下方的正变压与后部的负变压呈对称结构。飑线发展变化的不 同阶段其内部表现出不同的结构特征,飑线内部有比较明显的倾斜气流,在其发展阶段内部 以上升气流为主,而到了成熟阶段,强的上升运动主要位于 600hpa 以上的高层区域,在中 低层则由于拖曳作用有非常显著的下沉气流。研究表明,针对空管 CDM 系统的广州机场终端 区对流天气服务试验产品可以较准确预报并有效地描述该飑线过程,对空管 CDM 系统的高 效运行有一定的帮助。

关键词: 广州机场终端区 飑线 数值模拟 服务产品

1 引言

位于华南地区的广州白云机场是全国航空的三大枢纽之一,机场常年对流天气频发,强 对流天气强度强、次数多,严重威胁我国航班的正常与安全,其中飑线就是影响广州机场终 端区的强对流天气系统之一。为了在对流天气发生时有效利用有限的空域资源、合理安排飞 行流量及高效安全地实施空中交通管理,航空用户需要掌握广州机场终端区对流天气的发 生、发展和变化情况。

飑线是一种由多个雷暴单体排列成带状或线状而成的中尺度强对流天气系统,飑线过程 常伴有大风、冰雹、强降水甚至龙卷等灾害性天气,因此对飑线发生发展的研究是一项非常 重要的课题。早期国内外学者主要是通过常规观测和雷达资料来研究飑线发生的天气形势和 强度变化机理。丁一汇等[1]通过对我国 18 个飑线个例进行研究,认为冷锋、切变线、低涡 和高空急流等可以对飑线起到触发和组织的作用。Houze 等[2]通过对雷达资料进行分析给

¹黄奕铭, 1973年6月出生, 男, 高级工程师, 研究方向为航空对流天气预报。

出了飑线系统结构的概念模型,包括飑前的近地面入流、对流区内对流尺度的上升和下沉运动、层云区内中上层向后的上升出流和中下层向前的下沉入流。潘玉洁等[3]利用双多普勒 雷达风场反演方法和热动力反演方法研究飑线的内部结构,发现对流区的气流呈准二维结 构,系统前方深厚的从前向后气流和后部低层的从后向前气流在系统前缘低层辐合形成动力 高压,触发新对流单体,是系统长时间维持的主要机制。

随着计算机和数值天气预报技术的发展,越来越多的学者开始使用高分辨率的数值模式 来研究飑线的结构演变和维持机制。张大林等[4]采用一个三维格点模式研究飑线后部入流 的结构和演变,认为冷却和降水拖曳是后部入流产生下降的主要原因。刘香娥、郭学良[5] 使用 WRF 模式研究飑线过程灾害性大风的发生机理,认为降水粒子的蒸发和融化冷却对降低 地面温度和产生地面强风有重要影响,由雨水蒸发而形成的地面强冷池对飑线大风的产生有 重要作用。吴多常、孟智勇等[6]通过敏感性试验对飑线的可预报性进行研究,发现模式分 辨率和物理过程的选择对飑线的模拟结果影响很大,高于 10km 的分辨率才有可能比较好地 捕抓飑线过程,另外飑线的模拟结果对模式初始场的误差也十分敏感。

2013 年 4 月 30 日 (本文均使用北京时间), 广州机场终端区自西北向东南经历了一次 强飑线天气过程, 广州白云机场出现了强雷雨和 17m/s 的阵风, 对进出港航班的正常造成了 很大影响。本文使用地面和高空常规观测资料、FY-2E 卫星资料、多普勒天气雷达和风廓线 雷达资料来分析此次飑线过程发生的天气形势和宏观特征, 并采用 WRF 中尺度模式对该过程 进行高分辨率的模拟研究, 检验模式对飑线过程的预报能力, 同时探讨飑线的发展变化机制 和内部结构特征。

同时,按照我国机场终端区对流天气预报研究计划,民航中南气象中心开展了广州机场 终端区的对流预报系统试验,以服务空管 CDM 系统为目标,进行新的对流天气服务产品研发, 本文以 2013 年 4 月 30 日的飑线过程为例,介绍正在试运行的广州机场终端区对流预报系统 的服务产品设计及服务效果。

2 大尺度环流形势和观测分析

2.1 飑线发生的环流背景

4月30日白天,飑线云带自西北向东南横扫华南大部区域,广东省大部市县先后出现 了大雨到暴雨,局部大暴雨到特大暴雨。30日08时至16时,海丰县联安镇录得304.3毫 米的特大暴雨;有10个气象站录得100~250毫米的大暴雨,有47个气象站录得50~100 毫米的暴雨,有465个气象站录得25~50毫米的大雨,珠江三角洲和粤西地区在雷雨过程 中普遍伴有8~10级短时大风。广州白云机场出现了强雷雨和17m/s的阵风。

2

从4月30日08时的形势场(图1)上看,850hpa切变线位于广西中部、广东北部到江 南东部地区,500hpa高空槽处于广西的东部,整个850hpa至200hpa广东都处于深厚的槽 前西南气流控制之下。高空槽的东移带动850hpa切变线的南压,切变线南侧一直维持着强 劲的西南急流,充足的水汽输送为飑线的形成和加强提供了有利条件。分析地面天气图(图 2)可知,30日白天,华南地区都处于低槽的控制之中,有一股弱冷空气南下影响。



图 1 2013 年 4 月 30 日 08 时的风场和位势高度场: (a) 850hpa; (b) 700hap; (c) 500hpa; (d) 200hpa



图 2 2013 年 4 月 30 日 08 时的地面风场和海平面气压

从白云机场风廓线雷达探测的风场变化(图3)可以看到,中午12:30前后,3000m以下由西南风转西北风,而3000m-5000m依然维持西南风,此时正是飑线压到机场上空的时间。 说明地面冷空气、850-700hpa切变线与这次飑线系统有很好的对应关系,而500hpa高空槽 则有所滞后。

从大气层结情况(图 4)看,08时的清远探空曲线显示在925hpa以下存在逆温,可能 是夜点地面的辐射冷却所至,温度露点差的大值区位于500hpa以上,说明500hpa以下有比 较充足的水汽储备,上干下湿的层结有利不稳定能量的累积。在稳定度方面(表 1),梧州 和清远的K指数和SI指数分别为41、37和-3.37、-1.02,说明两地的层结条件都有利于对 流的发生,但是清远的对流有效位能只有1113.3J/kg,这与潘玉洁[3]和Bryan and Morrison[7]的研究中计算的飑线CAPE相比小了不少,而此时梧州探空得到的对流有效位能 只有215.4J/kg,这可能是因为此时飑线的前沿刚好到达梧州,部分能量已得到释放。



图 3 2013 年 4 月 30 日 10:00-14:00 广州风廓线雷达探测的风场时间序列



图 4 2013 年 4 月 30 日 08 时梧州(59265)和清远(59280)的探空图

站点	K 指数(°C)	CAPE(J/kg)	SSI	SI (°C)	LFC(hPa)
59265	41	215.4	261.6	-3.37	722. 4
59280	37	1113.3	274.2	-1.02	952.4

表1 4月30日08时梧州和清远探空算得不稳定能量条件

2.2 飑线过程的观测特征

从 FY-2E 红外云图(图 5)中可以看到,08:00 开始大片对流云团覆盖江南和华南大部 地区,但是结构相对松散,到了 11:00 后可以明显地看到呈线状的东南边界,云团变得非常 密实。整个云系自西北向东南方向移动,横扫广东大部,到了 17:00 云系又逐渐分裂,对流 趋于减弱。



图 5 2013 年 4 月 30 日 FY-2E 红外云图反映的对流演变过程: (a) 08:00LST; (b) 11:00LST; (c) 14:00LST;

(d) 17:00LST

雷达强度图能够更清晰地展示飑线的结构特征(图6),飑线由众多排列紧密的对流单体组成,回波梯度很大,强回波带宽度只有40km,长度350km,最大回波强度超过55dbz, 最大高度达到15km(图略)。在到达广州机场之前,飑线强度迅速增强,移速约为50KM/h。 经过广州机场之后,北段移速开始减慢,强度减弱,南段则继续快速的向东南方向移动。

强对流过程经常带来大风天气,研究指出飑线发生时也常伴随有破坏性很强的龙卷风或 下击暴流,其后部的入流和地面高低压间的气压梯度力可能是造成飑线大风的原因[8]。图 7 是 30 日 12 时和 13 时飑线经过白云机场前后的雷达强度回波和速度图。从 12 点的速度图 中可以看到,在飑线过境之前机场上空中高层吹的是西北偏西风,低层吹的是西南风,有明 显的垂直风切变,地面附近的最大风速约 20m/s 的量级,与机场实际观测的风速十分接近, 说明飑线过境前的雷达速度图对大风的预报有很好的参考价值。13 点飑线过境后,低层转 成西北风,整个零速度带位置与飑线基本一致,反映了切变线过境时典型的风场变化特征。



图 6 2013 年 4 月 30 日番禺雷达回波: (a) 11:00LST; (b) 12:00LST; (c) 13:00LST; (d) 14:00LST





图 7 2013 年 4 月 30 日广州雷达 1.2 度仰角的 PPI 图: (a) 12:00LST 反照率; (b) 12:00 速度图; (c) 13:00LST 反照率; (d) 13:00LST 速度图

3 飑线过程的数值模拟研究

前面通过观测资料分析了 4 月 30 日飑线过程发生的环流形势和雷达回波特征,但由于时空分辨率和观测变量的限制,难以分析飑线内部的结构特征和发展变化机理,下面利用 WRF 中尺度数值天气模式进行高分辨率的模拟试验,探讨飑线的三维结构和发展变化机制及 广州机场终端区短时预报系统(1-6 小时)的设计。

3.1 模拟方案设计

本文采用 WRFV3.3.1 版本, WRF 模式是高分辨率的非静力可压缩模式,采用了通量形式的动力方程组,地形跟随的阶梯坐标,Arakawa-C 水平交错网格和3阶 Runge-Kuta时间分裂方案。在本次数值模拟中,试验采用 Mercator 地图投影的三重双向嵌套网格,区域的中心位于(23°N,112°E),如图8和表2。模式的三个模拟区域均采用 YSU 行星边界层方案及RRTM 长波和 Dudhia 短波辐射参数化方案;在模拟区域 D01和 D02中采用 BMJ 积云对流参数化方案,在模拟区域 D03的 4km 高分辨率网格中,由于可以分辨出云尺度的物理量,不采用任何积云对流参数化方案;在三个区域均采用 WSM6 云微物理方案。

将美国国家环境预报中心 (NCEP) 和美国国家大气研究中心 (NCAR) 提供的 6 小时一次 1°×1°分辨率的 FNL 最终分析资料水平插值到粗网格区域 D01, 垂直插到 28 层 eta 面上 作为背景场。D01、D02 和 D03 区域的模拟时间均从 2013 年 4 月 29 日 20 时到 2013 年 4 月 30 日 20 时, 共积分 24 小时。

7



图 8 模拟试验的三重嵌套区域

区域	D01	D02	D03
格点数	140×120	181×154	271×241
格距 (km)	36	12	4
积分步长 (s)	90	30	10
积分时间 (h)	24	24	24
对流参数化方案	BMJ	BMJ	None
边界层方案	YSU	YSU	YSU
云微物理方案	WSM6	WSM6	WSM6

表 2 模拟试验的参数设置

3.2 模拟结果的验证

短时强降水是飑线天气带来的主要灾害之一,而在数值模拟中降水既受大尺度环流场 影响,又与内部的云微物理过程有关,要准确模拟有比较大的难度。图 9 是 D03 区域(4km) 4 月 30 日 08 时-14 时与 14 时-20 时模拟的 6 小时累积降水与中央气象台发布的实况观测资 料的比较。可以看到 08 时-14 时,模拟的雨区分布与实况非常相似,雨带主要位于广西的 东南部、广东的中北部、湖南南部和福建中南部一带,但是位于广东北部的强降水中心模拟 的位置偏北,强度也偏强。14-20 时,位于粤东和福建中南部的降水模拟地较好,范围和中 心基本吻合,但位于湛江、海口一带则有一些虚假的降水出现。总体来说,模式对此次飑线 过程的降水范围模拟较好,但强中心位置有偏差。



图 9 2013 年 4 月 30 日 08 时-14 时和 14 时-20 模拟的降水与实况的比较

图 10 是 D03 区域(4km)模拟的最大雷达反照率与华南区域雷达拼图的对比,可以看 到这次模拟试验比较成功地模拟出了飑线的发展和变化过程。4 月 30 日 08 时,强对流位于 广西的东部和广东的西北部,强回波中心已初显飑线形态,到 11 时,飑线发展强盛向东南 方向移动,12 点前后开始影响广州,与实际影响时间偏差在 1 小时之内,14 时飑线的长度 达到了上千公里,而宽度只有几十公里,在到达沿海之后强度减弱消散。从模拟和观测结果 都可以看出,这次飑线可分为两段,主体位于广东境内,另一段位于江西和福建的南部,相 比之下,广东北部一带的飑线模拟得更偏快一些,模拟的飑线宽度更小,强对流集中,线形 结构更加明显。可见,模式已基本具备了模拟飑线这种强天气过程的能力,对于提前判断飑 线的形成和过境时间有很好的参考价值。

对比 D02 区域(12km)模拟的最大雷达反照率(图略),4km 分辨率可以较好的模拟出 飑线的形态,效果明显超出 12km 分辨率的预报场,这也表明,针对广州机场终端区的短时 预报系统(1-6 小时)要满足当前航空业务需求,特别是空管 CDM 系统的高效运行,需要 发展高分辨(3-4km 量级)的数值预报系统,并针对不同的天气背景进行参数设置试验。

9



图 10 2013 年 4 月 30 日 08 时、11 时、14 时、17 时模拟的最大雷达反照率(右)与华南雷达拼图(左)的 对比

3.3 飑线的发展变化和结构分析

飑线天气的发生是上下各层天气系统相互作用下的结果,图 11 给出了 4 月 30 日模拟的 最大雷达反照率分别与地面、850hpa 、700hpa 和 500hpa 风场的叠加,可以看到飑线的位 置与地面辐合线位置相对应,飑线的南段是在 850hpa 切变线配合 700hpa 槽线作用下形成 的,飑线的北段则主要受 850hpa 切变线的影响,这可能也是为什么飑线的南段比北段更强 的原因。整个系统均处于 500hpa 高空槽前,使得大气层处于不稳定的状态,高空槽的东移 带动了整个系统的南压。



图 II 2013 午 4 万 30 日 II 时候我们取入田达汉派平和风初: (a) 地面; (b) osonpa; (c) 700npa; (u) soonpa

图 12 是 4 月 30 日 11 时和 14 时飑线过境前后模拟的广州 T-InP 探空曲线图,在 11 时 飑线过境之前,500hpa 以上的温度露点差大于 4K,说明中上层有干空气的入侵,K 指数达 到 39,对流有效位能为 1395J/kg,而低层则是比较强的暖湿气流,整个层结处于非常不稳 定状态,这与图 4 清远探空的结果非常相似。而到了 14 时飑线过境后,500hpa-300hpa 的 温度露点差明显减小,地面温度显著下降,K 指数也下降到 28,对流有效位能得到完全释放。



图 12 2013 年 4 月 30 日 (a) 11 时和 (b) 14 时模拟的广州站 T-lnP 探空曲线 雷暴高压和地面冷池是强对流天气的重要特征, Engerer 等^[9]的研究指出,在对流系统 发展的不同阶段,地面气压和冷池的变化表现出不同的特征。图 13 是 4 月 30 日 08 时、11 时、14 时、17 时的地面一小时变压、变温和地面风场。在飑线加强的过程中,地面冷池越 来越显著,飑线前后的温度梯度很大,地面一小时变温超过 6℃。在 11 时飑线发展的过程, 整个飑线及其后部都是大范围的正变压,到了 11 时,南支飑线的南端达到一定强度后,其 后部则变成负变压,北端处于正在加强过程中其后部仍是正变压。到了 14 时整个飑线发展 成熟时,飑线低层的正变压与后部的负变压呈对称结构。



图 14 是 4 月 30 日飑线强度变化过程中沿图 11 (a) 中的 AB 线上的雷达反照率、温度和 环流场的垂直剖面,可以看到零度层位于 500hpa 到 600hpa 之间,强对流区域由于释放更多 的潜热其零度层位置更高一些。在 02 时、05 时和 08 时的发展阶段,飑线前部各层都是逐渐增强的上升气流,而后部中层则有明显的倾斜入流。到了 11 时和 14 时的成熟阶段其内部 结构则有所不同,在 600hpa 以上是很强的上升气流,回波最高到达了 200hpa (约 12km)的 高度,而在 600hpa 以下的强回波区上升运动从后向前减弱,14 时整个内部都是非常强的下 沉气流,这可能主要是由强降水的拖曳作用引起,当内部的上升和下沉运动达到一定平衡之 后,飑线的强度便开始减弱。



图 14 2013 年 4 月 30 日沿图 10(a)中 AB 直线的雷达反照率、温度和风场垂直剖面: (a) 02 时; (b) 05 时; (c) 08 时; (d) 11 时; (e) 14 时; (f) 17 时



图 15 2013 年 4 月 30 日 11 时的散度水平分布(单位 10³s⁻¹) (a) 850hpa; (b) 700hpa; (c) 500hpa; (d)200hpa 再看图 15 中 11 时各层的散度分布,在 850hpa 上,飑线的前方主要是辐合后部是辐散,

这与图 14(d)的剖面图相对应,而在 700hpa 上前部是辐散后部是辐合,到了 500hpa 和 200hpa 则前后都是辐散场,对应了图 14(d)中上层的上升运动。这种低层前部的辐合配合后部的倾斜下沉,中高层的辐散抽吸反映了飑线加强过程中的主要环流特征。

4 飑线过程短时临近预报试验

根据天气学的原理和全球气象行业整体水平,将机场终端区对流天气预报(0到6小时) 分为临近预报(0到1小时)和短时预报(1到6小时),临近预报产品时间分辨率为分钟级, 短时预报时间分辨率为小时级。民航中南气象中心开展了广州机场终端区的对流预报系统试 验,根据空管 CDM 系统的运行需求,设计新的气象服务产品。

4.1 广州机场终端区临近预报系统(试验版)介绍

系统以广东省气象局的多部 S 波段多普勒天气雷达的 3 公里 CAPPI 拼图为依据,每隔 6 分钟运行自主研发的交叉相关追踪算法^[11],输出广州机场终端区未来 0 到 1 小时的对流天 气分布,空间分辨率为 2km,根据空管业务特点加工成对流天气临近服务产品客观化产品。

4.2 对流天气临近服务产品

图 16 为广州机场终端区 2013 年 4 月 30 日 03:30UTC 未来 60 分钟雷达回波预报产品, 该产品叠加广州机场终端区的航线,同时针对广州白云机场的双跑道及一边和五边运行特 点,把广州白云机场周边 30km 的区域划分为 8 个区域,分别为 a 到 h 区,用户可以清楚了 解未来0到1小时内某时刻的广州机场终端区关键点和关键区域的对流天气强度。

图 17 为广州机场终端区 2013 年 4 月 30 日 03:00UTC 实况雷达回波与 TREC 风的叠加产品,可以看到飑线上的单体以 50kmh 的时速向偏东方向快速移动,移动速度与 2.2 中分析的较吻合,但是从小时级别的雷达回波移动趋势看,整个移动自西北向东南移动。因此,对于对流系统的移动,可以根据不同的用户性质,考虑不同时间级别的预报结论,对于 CDM 系统,可能需要小时级别的移动趋势,对于塔台管制运行,分钟级别的移动趋势可能帮助更大。

图 18 为广州机场终端区 2013 年 4 月 30 日 03:30UTC 未来 0 到 1 小时关键点和关键区域 对流天气影响程度预报产品,影响度的计算规则暂定如下(告警算法规则可根据用户需求定 义): 红色代表该点周围 10km 内有 15%的格点>=40dbz 或 30%格点>=30dbz; 黄色代表 5%的 格点>=40dbz 或 10%格点>=30dbz 或 30%格点>=25dbz; 其余为绿色。

图 19 显示,广州机场终端区 2013 年 4 月 30 日 03:30UTC 的 30 和 60 分钟雷达回波预 报中,飑线的强度和位置均基本吻合,飑线前部的一些分散单体强度预报效果略差,这与飑 线前部局部对流单体突然发展有关,基于交叉相关追踪算法的临近预报系统目前还无法解决 这类问题。

图 20 可以看到, 2013 年 4 月 30 日 03:36UTC、04:00UTC、06:00UTC, 对广州白云机 场跑道区域未来 0 到 1 小时的对流影响程度预报中(0 为绿色, 1 为黄色, 2 为红色), 3 个时次的影响程度预报最高强度和实况均吻合,在 03:36UTC,预报 04:36 出现红色,比实际滞后约 18 min;在 04:00UTC,强度和出现时间的预报与实况完全吻合;在 06:00UTC 预计红色影响程度的减弱时间为 06:24,比实况提前约 12min。这表明该预报系统在这次过程的表现 基本正常。



图 16 广州机场终端区 2013 年 4 月 30 日 03:30UTC 60 分钟雷达回波预报产品



图 17 广州机场终端区 2013 年 4 月 30 日 03:00UTC 实况雷达回波与 TREC 风的叠加产品



图 18 广州机场终端区 2013 年 4 月 30 日 03:30UTC 未来 0 到 1 小时关键点和关键区域

对流天气影响程度预报产品



对比



图 20 广州白云机场跑道区域 2013 年 4 月 30 日 03:36UTC、04:00UTC、06:00UTC 对流 影响程度预报和实况对比(0为绿色,1为黄色,2为红色)

4.3 广州机场终端区对流天气短时预报试验

如 3.2 所提到,基于高分辨的数值预报系统可以尝试用于解决广州机场终端区的对流短时预报问题。

为更接近实际运行,广州机场终端区对流天气短时预报业务试验使用 GFS 的 4 月 29 日 12 时预报场作为背景场,使用三重双向嵌套,分辨率为 27/9/3 公里,第一和第二层区域以 4 月 29 日 12 时起积分 48 小时,使用 WSM6 云微物理方案,KF 对流参数化。第三层区域积分以 29 日 18 时起积分 24 小时,因第三层区域分辨率为 3 公里,能够分辨出大部分的对流云,因 此不采用积云参数化方案。以第三层区域的预报结果作为所需的模式预报结果。

图 21 为 2013 年 4 月 30 日 00:00UTC 到 12:00UTC 的 WRF 模式雷达回波预报与实况逐时 对比,可以看到,该次试验可以预报出飑线过程,能够很好的反映飑线从西北向东南移动的 过程,飑线形态和强度也与实况相当。通过仔细对比发现,预报的雷达回波较实况快 1 小时 左右。需要指出的是,该预报结果是基于业务运行而设计,并不是通常个例模拟通过多次调 整得出的。使用相同的设置,我们还对 2013 年影响白云机场的其他几次飑线过程(3.28, 4.20 和 4.25)进行数值预报试验,都能够较好的反映飑线的形态和移动过程,只是在时间上 (或者说位相上)有所误差,一般在三小时以内,因篇幅有限,不在本文赘述。

以广州终端区内的广州白云机场跑道、高要和英德为例,从图 22 可以看到,2013 年 4 月 30 日 00:00UTC 到 12:00UTC 三个关键点的对流天气影响度最大强度及维持时间的预报和 实况完全吻合,对流天气红色影响度预报均比实际提前约 1h。 为提高短时预报的准确率,结合雷达回波外推的融合技术在国内外开始应用,有以上的基础,接下来我们可以开展不同天气背景下的模式结果和雷达回波外推的融合试验,为空管 CDM 系统的高效运行提供有效的气象服务产品。







26N

24N

22N

110E







114E

116E

112E



118E



图 21 2013 年 4 月 30 日 00:00UTC 到 12:00UTC 的雷达回波预报和实况对比







图 22 2013 年 4 月 30 日 00:00UTC 到 12:00UTC 广州白云机场跑道、高要和英德对流天气影 响度预报与实况对比

5 总结与讨论

本文通过多种观测资料和数值模拟对 2013 年 4 月 30 日发生在广州机场终端区的飑线过 程的发展变化和结构进行分析和服务产品研究,结果表明:

- 此次飑线过程是高空槽东移带动地面弱冷空气南下,中上层的干冷空气与中低的暖湿气 流在华南上空交汇形成,850hpa 切变线和700hpa 的高空槽是最直接的影响系统。
- 数值模拟结果显示 WRF 模式能比较好地模拟出这次飑线过程的发展变化过程,模拟的位置、移向、移速和强度与观测结果十分接近,对于广州机场终端区对流预报系统的设计 有很好的参考价值。
- 此次飑线过程有非常明显的地面冷池,在飑线发展的不同阶段雷暴高压的分布有不同特征,发展阶段出现在整个飑线的下方及期后部,而在成熟阶段其下方的正变压与后部的 负变压呈对称结构。
- 2) 飑线发展变化的不同阶段其内部表现出不同的结构特征,飑线内部有比较明显的倾斜气流,在其发展阶段内部以上升气流为主,而到了成熟阶段,强的上升运动主要位于
 600hpa以上的高层区域,而在中低层则由于拖曳作用有非常显著的下沉气流。
- 5) 针对空管 CDM 系统的广州机场终端区对流天气服务试验产品可以较准确预报并有效地 描述该飑线过程,对 CDM 系统的高效运行有一定的帮助。

参考文献

- [1] 丁一汇,李鸿洲,章名立等. 1982. 我国飑线发生条件的研究. 大气科学, 6(1): 18-27.
- [2] Houze R A Jr, Biggerstaff M I, Rutledge S A, etal. 1989. Interpretation of Doppler weather radar displays of midlatitude mesoscale convective systems. Bull. Amer. Meteor. Soc., 70(6):608-619.
- [3] 潘玉洁,赵坤,潘益农等. 2012. 用双多普勒雷达分析华南一次飑线系统的中尺度结构 特征[J]. 气象学报,70(4):736-751.
- [4] Zhang D L, Gao K. 1989. Numerical simulation of an intense squall line during 10-11 June 1985 PRE-STORM. Part II: Rear inflow, surface pressure perturbations and stratiform precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, 117: 2067-2094.
- [5] 刘香娥,郭学良.2012.灾害性大风发生机理与飑线结构特征的个例分析模拟研究.大气 科学,36(6):1150-1164.
- [6] Wu, D. C., Z. Y. Meng, and D. C. Yan. 2013. The predictability of a squall line in South China on 23 April 2007. Adv. Atmos. Sci., 30(2): 485-502.
- [7] Bryan G H. Morrison H. 2012. Sensitivity of a simulated squall line to horizontal resolution and parameterization of microphysics. *Mon. Wea. Rev.*, 140: 202-225.
- [8] Schmidt J M, Cotton W R. 1989. A high plains squall line associated with severe surface winds. J. Atmos. Sci., 46(3):281-302.
- [9] Engerer, Nicholas A., David J. Stensrud, Michael C. Coniglio. 2008. Surface Characteristics of Observed Cold Pools. *Mon. Wea. Rev.*, 136:4839 - 4849.
- [10] 梁建宇,孙建华.2012. 2009 年 6 月一次飑线过程灾害性大风的形成机制.大气科 学,36(2):316-336.
- [11] 王刚,黄奕铭,曹正,苏丽蓉. 机场终端区对流天气临近预报的初步研究. 空中交通,2012年12月增刊:44-49.