

叶建元,李德俊,袁正腾,等.基于多种探测资料的飞机人工增雨航线设计方法及应用[J].暴雨灾害,2011,30(1):83-89

基于多种探测资料的飞机人工增雨航线设计方法及应用

叶建元,李德俊,袁正腾,向玉春,陈英英

(湖北省人工影响天气办公室,武汉 430074)

摘要:基于 SWAN 多普勒雷达产品和 FY-2C/D 卫星等综合观测资料反演产品,研制了层状云飞机人工增雨飞行航线和对流云(混合云)飞机绕云飞行航线设计方法,并分别应用于湖北省 2009 年 2 月 5 次层状云飞机人工增雨飞行航线设计和 2010 年 4 月 12 日对流云飞机人工增雨绕云航线设计模拟试验。结果表明,飞行航线设计作业区与实际作业区基本一致,设计飞行航线与实际航线也很一致;与对比区相比,催化作业效果比较明显;根据实时雷达回波按照绕云航线设计算法不断修正作业飞行航线,通过音频、图像传输与飞机上作业人员联系,可成功避开强对流云区域并达到最佳催化作业效果。

关键词:人工增雨;航线设计;模拟试验;作业效果

中图分类号:P48 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2011)01-0083-07

Design Method and Application of Airplane Artificial Precipitation Route Based on Multi-Sounding Data

YE Jianyuan, LI Dejun, YUAN Zhengteng, XIANG Yuchun, CHENG Yingying

(Weather Modification Office of Hubei Province, Wuhan 430074)

Abstract: Based on Doppler radar SWAN products and retrieval products of comprehensive sounding data from FY-2C/D satellites and so on, the method designing the airplane artificial precipitation routes through stratiform cloud and around convective cloud (mixed cloud) was developed and applied to design five routes through stratiform cloud in February 2009 and a route around convective cloud (mixed cloud) in simulation test on 12 April 2010. The results show that the operating area of flight route designed agreed with the actual operating area basically, and the flight route designed was in line with the actual flight route. Compared with the contrast areas, precipitation enhancement effectiveness was much better obviously. Based on real-time radar echo and design algorithm of around cloud route the operating flight routes were modified constantly, and continuous contact was kept with the aircraft operators by audio and video transmissions, so that the strong convective cloud fields could be successfully avoided and the best results were achieved.

Key words: Artificial precipitation; Flight route design; Simulation test; Precipitation enhancement effectiveness

1 引言

目前,飞机人工增雨已纳入常态作业,如何科学合理设计飞机增雨航线以达到最佳催化效果是一个亟待解决的问题。我国飞机人工增雨工作在北方开展较早,针对云型基本上是层状云,航线设计经历了从手工绘制到层状云催化剂扩散模式模拟半自动化以及基于 PMS 特种探测跟踪播散方式的转变,使层状云飞机作业技术日趋成熟^[1-3],并得到北方部分省份飞机人工增雨作业云系可播宏观、微观若干参考指标^[4]。而

我国南方降水云型较多,不仅有层状云降水,还有对对流云及混合云降水,且以后两型为主。因此,我国南方飞机人工增雨不仅要层状云进行穿云航线设计,还要对对流云和混合云进行绕云航线设计,但目前对对流云飞机作业航线设计研究较少。

中国气象局业务建设项目灾害天气短时临近预报系统(SWAN)于 2009—2010 年汛期在全国各地短期临近预报服务中推广和应用,使多普勒天气雷达产品应用越来越普及。目前,多普勒雷达探测产品在天气预报与分析中发挥的作用越来越大^[5-10],其在人影业务

收稿日期:2010-09-06;修订日期:2011-02-18

资助项目:2008 年度湖北省气象局科技发展基金重点项目“人工增雨飞机作业航线设计和地面自动控制催化系统”(2008Z06)

第一作者:叶建元,男,1965 年生,高级工程师,主要从事大气物理和人工影响天气研究。E-mail: y1j2y3@sohu.com

中的作用也逐步显现。如人影业务上需要对 SWAN 中的组合反射率因子、回波顶高、液态含水量、三维拼图四种基本常规产品以及 TREC 风场和 60 分钟反射率预报产品进行数据格式转换与二次开发,形成人影业务需要的 ArcGis 栅格数据和格点拼图数据格式的 2 小时反射率外推产品、云型分类等产品。这些产品由湖北省人工影响天气办公室基于 SWAN 拼图产品和 ArcGIS Engine 研究开发,其应用不仅使人工增雨科学性提高,且为人工增雨效果分析提供了若干物理证据,如指挥炮点和火箭移动作业点将碘化银播撒到云中过冷水和冰晶集中地区,比较作业后雷达回波、卫星反演产品^[11]变化特征及检验,设计较为科学合理的人工增雨飞行航线等。为了充分发挥多普勒天气雷达在飞机人工增雨中的作用,本文开展了基于多普勒天气雷达的飞机人工增雨航线设计及应用研究。文中使用的层状云和对流云播云宏观、微观参考指标见文献[4]。

2 设计方法

湖北省一般根据农业干旱、水库蓄水和森林防(灭)火等需要,开展飞机催化作业及对比观测,很少进行纯粹探测飞行试验。对层状云,一般选择平行条播方案,根据作业区、云型、风向等确定条距和条长;对对流云(混合云),选择绕云多边形播散方案,根据对流云位置、风向确定发射炮弹时机^[4]。具体方法、步骤如下。

2.1 产品处理

应用 SWAN 中 1 h 雷达回波预报,结合数值模式预报产品,引入数值模式预报平均风场作为 TREC 风场背景场,可有效跟踪和预报雷达回波短时间内的移动趋势^[12],再外推 1 h 得到人工影响天气飞机作业所需的 ArcGis 栅格数据和格点拼图数据格式的 2 h 反射率因子预报产品,然后利用 SHY 方法得到实况和预报云型分类产品。实况云型识别步骤为:读取 SWAN 三维拼图中 3 km 高度的 CAPPI 产品,再缩小产品的空间范围;利用 SHY 方法,生成实况对流性降水和层状云降水自动分类格点数据;将分类格点数据转换为 ArcGIS Shapefile 格式数据。预报云型识别步骤为:读取 SWAN 中 1h 反射率因子预报产品,再缩小产品的空

间范围;利用 SHY 方法,生成对流性降水和层状云降水自动分类格点数据;将分类格点数据转换为 ArcGIS Shapefile 格式数据。SHY 算法是 Steiner、Houze Jr 和 Yuter 研究的降水分类技术的简称^[13],其分类步骤如下:

(1) 对流核识别。任一格点反射率因子(Z ,单位: dBz)满足以下式(1)或式(2),则该格点识别为对流核。

$$Z > 40 \quad (1)$$

$$Z \leq 40, \text{ 且 } Z - Z_{lg} > \begin{cases} 10, Z_{lg} < 0 \\ 10 - Z_{lg}^2 / 180, 0 \leq Z_{lg} < 42.43 \\ 0, Z_{lg} \geq 42.43 \end{cases} \quad (2)$$

其中, Z_{lg} 为格点周围半径 11 km 范围内所有非零降水反射率因子的平均值。

(2) 对流区域识别。将对流核为中心的圆形区域也标识为对流性降水,区域半径(r ,单位: km)定义为

$$r = \begin{cases} 1, Z_{lg} < 30 \\ 2, 30 \leq Z_{lg} < 35 \\ 3, 35 \leq Z_{lg} < 40 \\ 4, Z_{lg} \geq 40 \end{cases} \quad (3)$$

Z_{lg} 定义同上。在同一背景强度下,对流半径分为小、中、大 3 个等级。

(3) 层状云降水区域识别。将对流区域以外的所有非零降水区域标识为层状云降水,从而生成降水分类场。

2.2 穿云航线设计算法

层状云“穿云”航线以平行条播方案为基础,其关键是确定条播平行线的端点,即与作业区边界的交点。主要步骤如下:

(1) 使用 ArcGIS Engine,搜索作业区边界上的所有节点,找出在风向(指作业区平均风向)方向上距离最远的两个节点,并确定哪个在上风向、哪个在下风向。记最上风向节点为 P_{w1} ,最下风向节点为 P_{w2} ,风向上最远距离为 D (图 1a)。

(2) 根据风速和催化时效估算条播行距 d ,然后计算从 P_{w1} 开始至 P_{w2} 结束每隔 $d/2$ 距离的风向垂直线的条数 K (图 1b)。记 $K = \text{Math.Ceiling}[D/(d/2)] - 1$,此式为 C^{++} 中的取整算法,即返回大于或等于该浮点数的最小整数。

(3) 计算到节点的距离为 $(d/2) \times n$ ($n=1, 2, 3, \dots$),

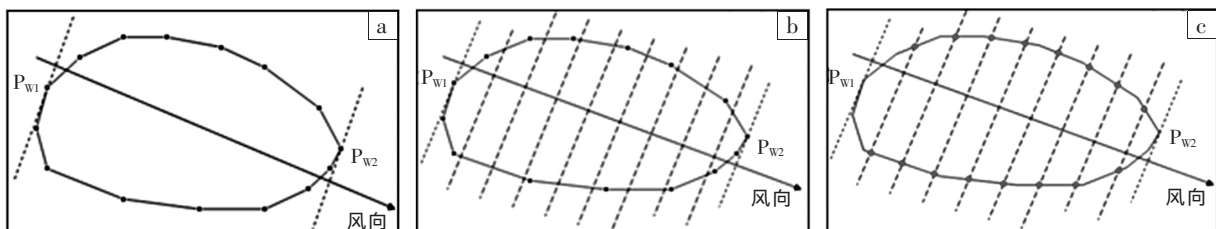


图 1 确定条播平行线及其端点示意图。(a) 最上风向节点和最下风向节点;
(b) 风向垂直线;(c) 风向垂直线与作业区边界的交点

K)且垂直于风向并与作业区边界有两个交点的所有直线,记录下所有交点(图 1c)。

条播平行线之间的过渡方式有三种,即半圆弧、贝塞尔曲线和“之”字形。根据过渡方式不同,选取的交点不同,本文采用的是半圆弧条播方案。

2.3 层状云穿云航线设计

根据 2 h 雷达反射率因子预报产品、作业需求和层状云飞机人工增雨作业可播宏观、微观参考指标^[4]等确定作业区,通过飞机性能和催化剂核化高度估算飞行作业高度;然后,根据风向、穿云条播等设计飞行航线(图 2)。

2.4 绕云航线设计算法

层积混合云作业“绕云”航线即围绕积云飞行,可发射焰弹作业,或在上风向播撒催化剂作业。使用 C++

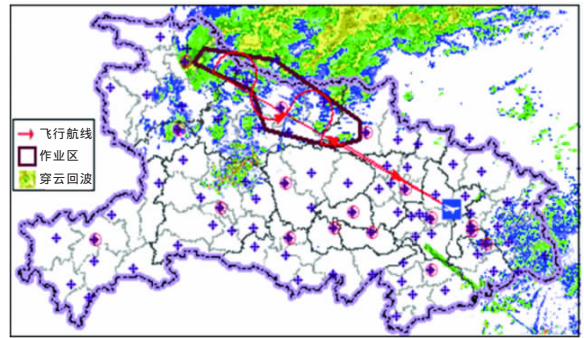


图 2 层云穿云半圆弧型平行条播飞行航线示意图

语言,基于 ArcGIS Engine 开发环境,设计“绕云”航线。其主要步骤如下:

(1) 应用 Geoprocessor 接口执行空间分析 Select 操作,在作业区云型图层中选取所有对流区域(图 3a)。

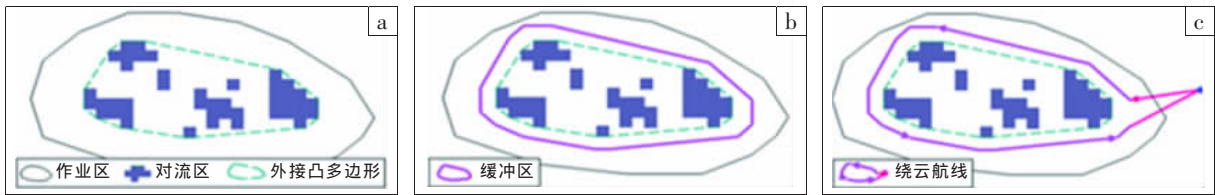


图 3 构造“绕云”航线示意图。(a) 作业区中的对流区域及其外接凸多边形; (b) 外接凸多边形的缓冲区; (c) “绕云”航线

(2) 利用 ITopological Operator 接口的 Convex Hull 方法,生成所有对流区域整体的最小外接凸多边形(图 3b)。

(3) 利用 ITopological Operator 接口的 Buffer 方法,对该凸多边形作距离为 d 的缓冲区(图 3b),此缓冲区边界线即为“绕云”航线, d 即为航线与积云边缘的距离。

(4) 取缓冲区边界线所有节点,找到其中距离机场最近的节点作为首节点,依次相连,回到首节点相邻的节点作为尾节点,即得到作业航线。最后,连接机

场坐标点与首节点、尾节点与机场坐标点,构成整个飞行航线(图 3c)。

2.5 对流云(混合云)“绕云”航线设计

根据 2 h 雷达回波预报产品、作业需求和对流云飞机人工增雨作业可播宏观、微观参考指标^[4]等确定作业区(图 4a);再根据飞机性能和催化剂核化高度估算飞行作业高度,通过云型分类产品确定对流云(混合云)区域(图 4b);最后,根据避开对流云(混合云)区域外围 1 km 等要求以及风向,设计飞机绕云作业航线(图 4c)。

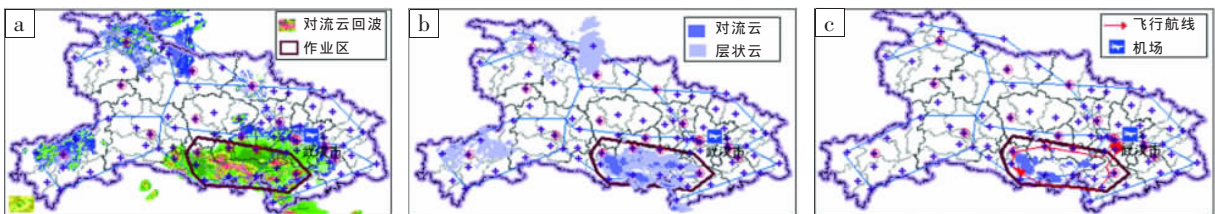


图 4 对流云绕云飞行航线示意图。(a) 根据 2 h 反射率因子预报产品确定作业区; (b) 作业区中 SHY 云型分类预报产品; (c) 作业区中对流云区域及飞行航线

2.6 实时修正航线

根据实时雷达回波对飞机航线进行及时修正,如飞机在实施人工增雨时,雷达监测到航线上回波突然加强成对流云(≥ 48 dBz),就需按照绕云航线设计算法将航线进行及时修正,绕开航线上的强对流云飞行,离对流云 1 km 左右播撒催化剂;另一种情况是层状云或对流云减弱很快(航线上回波 ≤ 20 dBz),飞机

还没有飞过去已成晴空区,作业条件消失,需及时修正航线,以便达到最佳催化增雨效果。

3 层云穿云飞行航线设计与应用实例

3.1 资料与处理

层云穿云飞行航线设计资料包括 2009 年 2 月武汉区域气候中心干旱遥感监测资料、Mynos 雷达拼图

数据、自动雨量站数据、探空资料、卫星反演数据以及湖北省地理信息。由于 Mynos 无 1 h 反射率因子预报产品,实际直接利用 Mynos 雷达拼图资料,结合数值预报产品,进行雷达回波移速移向趋势分析^[12],外推 2 h 得到人工影响天气飞机作业所需的 2 h 反射率因子

预报产品,再根据 SHY 统计方法生成云型分类产品。

3.2 飞行航线设计、应用和效果分析

图 5 是 2009 年 2 月飞机人工增雨作业航线设计和实际飞行航线对比图。图 3a—e 分别是设计的 13—16 日 5 架次飞机航线,图 3f—j 是同期 5 架次实际飞行

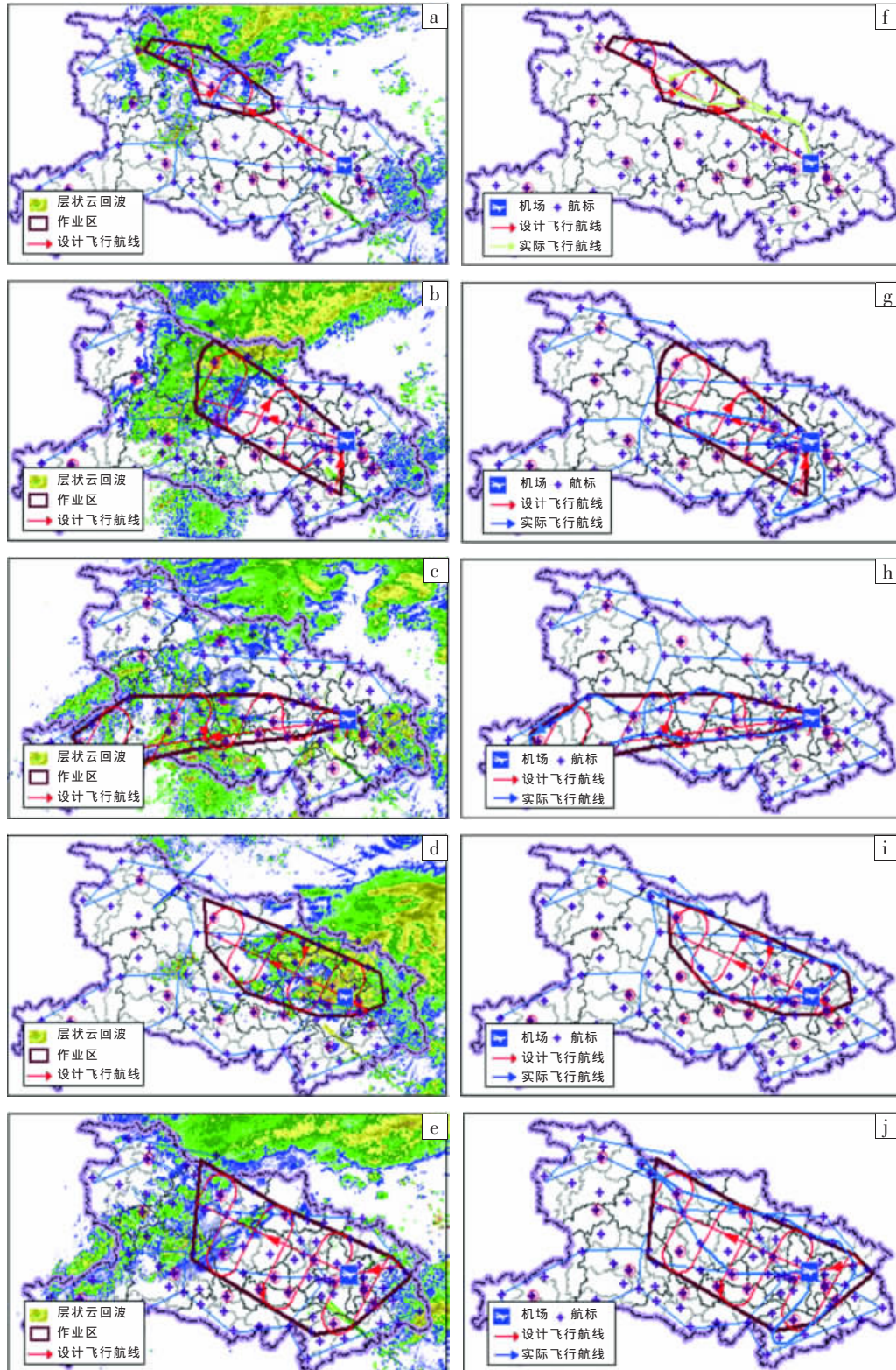


图 5 2009 年 2 月飞机人工增雨作业航线设计和实际飞行航线对比图,(a)、(b)、(c)、(d)、(e) 分别为 13—16 日 5 架次飞行设计航线,(f)、(g)、(h)、(i)、(j)分别为同期同架次对应的实际作业航线

行航线。

图 5a 是根据 13 日 03 时 48 分的 2 h 预测雷达回波设计的,其影响区域包括襄樊、随州、荆门市,影响面积约为 $3.0 \times 10^4 \text{ km}^2$,作业时间 139 min;图 5f 为对应的实际作业航线,也是在鄂北岗地一带,影响面积约为 $2.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,作业区域普降小雨。

图 5b 是主要针对咸宁和孝感的森林火灾实施人工增雨灭火作业设计的飞机航线,根据 13 日 07 时 12 分的 2 h 预测雷达回波设计的影响区域为鄂北岗地部分地区以及孝感、武汉、咸宁市,影响面积约为 $2.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,作业时间 163 min;图 5g 是对应的实际作业航线,根据天气实况增加了咸宁和鄂东南,耗时 205 min,作业区域普降小雨。

图 5c 是根据 15 日 07 时 36 分的 2 h 预测雷达回波设计的,其影响区域为鄂西南及江汉平原一带;图 5 h 是对应的实际作业航线,影响面积为 $4.8 \times 10^4 \text{ km}^2$,耗时 163 min,作业区普降小到中雨。

图 5d 是根据 15 日 13 时 18 分的 2 h 预测雷达回波设计的,其影响区域为鄂西北、鄂北岗地、鄂东等

地;图 5i 是对应的实际作业航线和区域,影响面积为 $5.2 \times 10^4 \text{ km}^2$,耗时 145 min,作业区普降小到中雨。

图 5e 是根据 16 日 06 时 42 分的 2 小时预测雷达回波设计的,其影响区域为湖北的中、北部地区;图 5j 是对应的实际作业航线,飞行催化区域包括荆门、随州、天门、襄樊、黄冈等地,影响面积约为 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$,作业后上述地区普降小雨,局部出现中雨。

综上所述可知,设计作业区与实际作业区基本一致,设计飞行航线与实际航线也有很好的一致性,但也存在一定差异。其原因是,理论上按平行条播方案设计的航线是较规则的平行线,而飞机实际飞行航线是不规则的曲线。

表 1 给出 2009 年 2 月 13—16 日 5 次层云穿云飞行航线设计与飞机实际穿云作业情况。从中可见,实际起飞时间、作业区域、影响面积与设计的基本一致;结束时间上存在一定差异,相应的耗时也有差别,最短相差仅 7 min,最长相差达 107 min(编号 1502);理论上计算的影响面积比实际作业影响面积要大,两者相差约为 $(2 \sim 4) \times 10^3 \text{ km}^2$ 。

表 1 2009 年 2 月 13—16 日 5 次层云穿云飞行航线设计与实际穿云作业对比表

| 比较 | 编号 | 起止时间 | 作业时间 | 作业区(地市) | 影响面积/ (10^4 km^2) | 作业区降水量级 |
|----|------|-------------|-----------|---------|-----------------------------|---------|
| 设计 | 1301 | 05:49—09:09 | 2 小时 19 分 | 武汉、襄樊等地 | 3.0 | / |
| | 1302 | 09:16—12:00 | 2 小时 43 分 | 孝感、咸宁等地 | 2.6 | / |
| | 1501 | 09:37—13:25 | 3 小时 48 分 | 武汉、荆州等地 | 5.2 | / |
| | 1502 | 15:18—19:30 | 4 小时 12 分 | 武汉、黄冈等地 | 5.6 | / |
| | 1601 | 08:47—11:38 | 2 小时 50 分 | 武汉、襄樊等地 | 4.3 | / |
| 实况 | 1301 | 05:52—08:18 | 2 小时 26 分 | 武汉、襄樊等地 | 2.6 | 小雨 |
| | 1302 | 09:05—12:30 | 3 小时 25 分 | 孝感、咸宁等地 | 2.4 | 小雨 |
| | 1501 | 09:55—12:38 | 2 小时 43 分 | 武汉、荆州等地 | 4.8 | 小到中雨 |
| | 1502 | 15:05—17:30 | 2 小时 25 分 | 武汉、黄冈等地 | 5.2 | 小到中雨 |
| | 1601 | 08:35—10:54 | 2 小时 19 分 | 武汉、襄樊等地 | 4.0 | 小到中雨 |

注:编号前两个数字为日期,后两个数字为当日飞行架次。如 1301,为 13 日第 1 架次。下同。

另外,利用探空资料、卫星反演数据^[11]和数值模拟数据对上述 5 次飞机人工增雨作业前后的云底高度、云顶高度、云体厚度、过冷层厚度、云顶温度、总液态水含量、云中过冷水这 7 个参量进行对比分析,其结果见表 2。从中可见:除 1302 架次满足所有层状云播云指标外,其他 4 架次均有 2~3 项指标不满足,降水条件较弱,但经飞机催化作业后,7 个云参量中除了云底高度无明显变化外,其他 6 个参量值均增加较为明显,其中总液水含量、云中过冷水分别增加 0.1~0.3 mm 和 0.1~0.2 $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

上述 5 次层云穿云飞行航线设计是基于 2009 年初严重旱情而组织的。当年 2 月 7 日的卫星遥感监测显示,湖北大部存在不同程度的旱情,其中鄂西北、鄂

东北东部旱情较重。因此,根据本文第 2.3 节中层云穿云飞行航线设计方法,设计出 5 架次飞机人工增雨层云穿云飞行航线。根据设计实施的 5 架次飞机作业,累计飞行 13 小时 32 分钟,影响区域包括湖北全省除神农架林区以外的 16 个市州大部分地区,累积增雨达 $5 \times 10^8 \text{ t}$ 。从 2 月 7 日 18 时至 16 日 15 时湖北省自动加密雨量站降水量分布图上可见(图略),截至 16 日 15 时,全省累计雨量大于 25 mm 的有 83 站。2 月 17 日卫星监测显示,湖北省旱情大幅度缓解,重、中旱面积基本解除,仅鄂北部分地区仍有轻旱(图略)。

4 对流云(混合云)绕云飞行航线模拟试验

选取 2010 年 4 月 12 日湖北南部一次对流性天

表 2 2009 年 2 月 13—16 日 5 次飞机人工增雨作业区前后云参量对比分析表

| 编号 | 时段 | 云底高度/km | 云顶高度/km | 云体厚度/km | 过冷层厚度/km | 云顶温度/°C | 总液水含量/mm | 云中过冷水/(g·m ⁻³) |
|------|-----|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------------------------|
| 1301 | 作业前 | 1~2 | 3~5 | 2~3 | 1~2 | -10~0 | 0.3~0.4 | 0.1~0.2 |
| | 作业后 | 1~2 | 4~6 | 3~5 | 2~3 | -30~-10 | 0.4~0.6 | 0.1~0.3 |
| 1302 | 作业前 | 1~2 | 4~6 | 2~3 | 2~3 | -30~-5 | 0.3~0.5 | 0.1~0.3 |
| | 作业后 | 1~2 | 5~7 | 3~4 | 2~4 | -35~-5 | 0.4~0.6 | 0.1~0.3 |
| 1501 | 作业前 | 1~2 | 4~6 | 2~4 | 1~2.5 | -20~0 | 0.4~0.5 | 0.1~0.3 |
| | 作业后 | 1~2 | 4~6 | 2~4 | 1~3 | -22~0 | 0.5~0.8 | 0.2~0.5 |
| 1502 | 作业前 | 1~2 | 2~6 | 1~4 | 1~3 | -20~0 | 0.3~0.5 | 0.3~0.6 |
| | 作业后 | 1~2 | 4~6 | 3~4 | 1~4 | -20~0 | 0.4~0.6 | 0.4~0.7 |
| 1601 | 作业前 | 1~2 | 3~6 | 2~4 | 1~3 | -20~0 | 0.4~0.6 | 1.5~2.4 |
| | 作业后 | 1~2 | 4~7 | 2~5 | 1~4 | -25~0 | 0.6~0.8 | 1.8~3.0 |

气过程,进行对流云(混合云)绕云飞行航线模拟试验。4月12日上午,一股冷空气沿西北路南下影响湖北,冷空气前锋于当日13时左右到达鄂东至江汉平原一带,受其影响,湖北南部出现对流性弱降水(图略)。根据第2.5节飞机人工增雨对流云(混合云)绕云飞行航线设计方法,对此次过程对流云飞机人工增雨绕云航线进行模拟设计。首先,通过SWAN 1 h 反射率因子预报产品(14时)外推出作业需要的2 h 反射率因子预报产品(15时),以此确定作业区(图6a);其次,根据作业需求等,划定作业区并叠加在13时反射率因子预报产品上,再根

据飞机性能和催化剂核化高度估算出飞行作业高度为4.2~5.5 km,通过SHY统计方法将作业区内对流云和层状云识别出来并确定对流云区域(图6b);第三,根据避开对流云(混合云)区域1 km 等要求及风向,确定这次飞机绕云作业航线(图6c);最后,根据实时雷达回波不断修正作业飞行航线(图7),通过音频、图像传输与飞机上作业人员联系,从而成功避开对流云区域并达到最佳催化作业效果。从15时30分实时雷达回波图上可见,作业区强对流回波发展较旺盛,作业条件较好,说明对流云(混合云)绕云飞行航线设计合理。

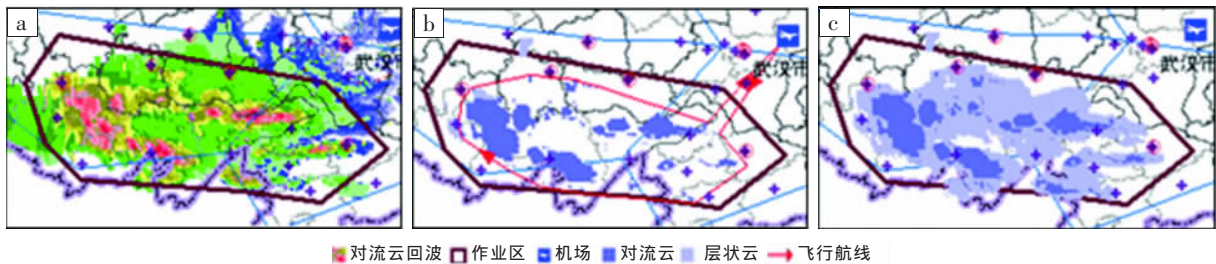


图 6 2010 年 4 月 12 日 15:00—16:26 对流云飞机增雨绕云航线模拟设计图。(a) 根据 2 h 反射率因子确定的作业区; (b) 作业区中 SHY 分类类型; (c) 作业区中对流云区域及飞行航线

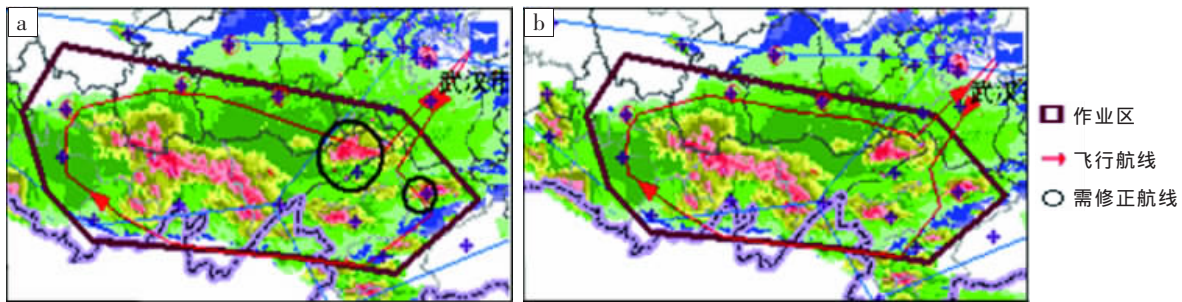


图 7 2010 年 4 月 12 日根据实时雷达回波修正的对流云飞机增雨绕云航线图。(a) 15:30 飞行航线与雷达回波、作业区叠加图; (b) 修正后的飞行航线与雷达回波、作业区叠加图

5 结论

根据飞机层云穿云飞行航线设计方法,设计了2009年2月份5次飞机人工增雨飞行航线,对其设计航线与实际航线进行了比较分析;同时,对5次飞机

人工增雨作业前后的7项播云指标进行了检验分析。此外,根据飞机对流云(混合云)绕云飞行航线设计方法,对2010年4月12日对流云飞机人工增雨绕云航线进行了模拟设计检验。其主要结论如下:

- (1) 5次飞机人工增雨飞行航线设计,作业区与实

际作业区基本一致,设计飞行航线与实际航线也有很好的一致性,累计飞行 13 小时 32 分钟,影响区域包括湖北全省除神农架林区以外的 16 个市州大部分地区,与对比区相比,催化作业效果较为明显。

(2) 利用探空资料、卫星反演数据和数值模拟数据,对 5 次飞机人工增雨作业前后的云底高度、云顶高度、云体厚度、过冷层厚度、云顶温度、总液态水含量、云中过冷水进行对比分析表明,除了 1 架次满足所有层状云播云指标之外,其他 4 架次均有 2~3 项指标不能满足,降水条件较弱,但经过飞机催化作业后,7 个云参量中除云底高度无明显变化外,其他 6 个参量值均增加较为明显。

(3) 根据实时雷达回波,按照对流云(混合云)航线设计方法不断修正作业飞行航线,通过音频、图像传输与飞机上作业人员联系,可成功避开强对流云区域并达到最佳催化作业效果,还可利用实时雷达回波对作业区飞机作业效果进行物理检验。

参考文献:

- [1] 孔燕燕,银燕,佟小林等.飞机人工增雨决策系统简介[J].内蒙古气象,1995(3):24-27.
- [2] 马舒庆,郑国光,汪改等.一种人工影响天气微型无人驾驶飞机及初步试验[J].地球科学进展,2006,21(5):545-550.
- [3] 王以琳,边道相,刘文等.山东飞机人工增雨作业决策系统[J].应用气象学报,2001,12:185-193.
- [4] 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.
- [5] 单兴佑,寿绍文,李德俊等.“09.3”鄂西南强对流天气的多普勒雷达特征分析[J].暴雨灾害,2010,29(1):59-64.
- [6] 张家国,王珏,王平.一种暴雨回波识别算法研究[J].暴雨灾害,2010,29(1):44-48.
- [7] 龙利民,陈亮,江航东等.副热带高压外围西北侧一次强对流天气的雷达回波特征[J].暴雨灾害,2007,26(1):68-72.
- [8] 肖艳姣,李中华,张端禹,等.“07.7”鄂东南强对流天气的多普勒雷达资料分析[J].暴雨灾害,2008,27(3):213-218.
- [9] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等.多普勒天气雷达原理与业务应用[M].北京:气象出版社,2005:1-20.
- [10] 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[J].暴雨灾害,2009,3:271-276.
- [11] 周毓荃,陈英英,李娟,等.用 FY-2C/D 卫星等综合观测资料反演云物理特性产品及检验[J].气象,2008,34(12):27-35.
- [12] 陈雷,戴建华,陶岚.一种改进后的交叉相关法(COTREC)在降水临近预报中的应用[J].热带气象学报,2009,25(1):117-122.
- [13] Steiner M, Houze R A Jr, Yuter S E. Climatological characterization of three-dimensional storm structure from operational radar and rain gauge data [J]. J Appl Meteor, 1995, 34: 1978-2007.

《暴雨灾害》征稿简则

《暴雨灾害》主要报道内容:暴雨机理与成因及监测预报技术与应用研究;暴雨洪涝灾害及其他气象灾害成因、预测与减灾对策;新的探测技术和资料在暴雨等灾害天气分析研究中的应用;国内外暴雨及相关灾害科学研究与发展综述。

一、投稿注意事项

1. 来稿论点明确,文字精炼,数据可靠。其书写顺序为:文题名(不超过 20 个汉字)、作者姓名、所在单位、单位所在地名、邮政编码、摘要(200~300 字,一般含研究目的、方法、结果与主要结论)、关键词(3~8 个);英文题名、作者姓名、所在单位、单位所在地名、邮政编码、摘要、关键词;正文;结论与讨论;致谢;参考文献。

2. 正文标题用阿拉伯数字连续编号,不同层次间用“.”隔开。如“1”、“1.2”、“1.2.3”等。标题左顶格,数字编号后空一格写标题,末尾不加标点符号。

3. 论文首页脚页处附各类基金项目或课题资助项目与作者信息。作者信息包括:姓名、性别、出生年份、职称(或学位)、主要研究方向与电子信箱(E-mail)。

4. 来稿中计量单位一律采用中华人民共和国法定计量单位。

5. 所附插图、表格宜少而精。插图不宜超过 8 幅,附表尽量制成三线表。图、表中量和单位用“/”隔开,物理量用斜体,并注明图(表)号、图(表)题、图(表)注以及符号文种、大小写、正斜体、黑白体、上下脚码等。

6. 参考文献采用顺序编码制,按其在文内出现先后顺序连续编码。期刊文献书写格式为:[序号] 作者姓名(列出前 3 位)、题名[J]、刊名、出版年、卷(期):起止页码。专著文献(含教科书)书写格式为:[序号] 作者姓名.文题名[M]//书名.出版地:出版者,出版年:引文页码。

二、请勿一稿多投,本刊一般不退稿。投稿 4 个月后未收到修改或录用通知,可自行处理。

三、本刊编辑部有对录用稿件适当进行文字技术处理的权利。不同意者,请书面说明。

四、本刊已入编《中国学术期刊(光盘版)》、“中国期刊网”、数字化期刊群“万方数据库”及《中文科技期刊数据库》。来稿一经录用,将同时被光盘版和数据库收录。若不同意收录,请来稿时说明。

五、本刊对录用稿件收取论文版面费,印刷出版后一次性支付稿酬(包含纸质版、数字版稿酬以及刊物内容网络服务报酬等),并赠送期刊 2 册。

六、通联地址:武汉市洪山区东湖东路 3 号武汉暴雨研究所《暴雨灾害》编辑部;邮政编码:430074

电话:(027)67847939;电子信箱:byzh7939@163.com