

河南省人工增雨飞机云微物理探测设计

黄毅梅¹ 濮江平² 邵振平¹ 鲍向东¹

(1 河南省人工影响天气中心, 郑州 450003;

2 解放军理工大学, 南京 211101)

摘要 人工增雨是一项研究型业务, 飞机外场作业、探测是它的重点, 只有根据一定目的方案设计下才能体现探测、作业资料的研究价值。根据河南省人工增雨作业、探测分析研究的需要并结合行业专项飞机探测, 探讨了 5 种云微物理探测目的及相应飞机探测设计: ①典型锋面云系垂直剖面结构探测; ②降水性层状云垂直结构探测; ③人工增雨催化作业效果检验飞行探测; ④云中过冷水探测; ⑤催化剂在云中的扩散及其物理响应的探测。以 2013 年 3 月 25 日飞机人工增雨探测为例, 探讨了飞行探测人工增雨的催化作业效果检验。

关键词 飞机人工增雨 云微物理探测目的 探测设计

引言

云和降水物理学与当代一些大气科学的前沿学科或课题的关系愈加密切^[1], 云物理学的研究离不开云物理探测, 飞机云微物理探测非常重要^[2], 探测资料可用于云结构、云微物理过程机理、人工增雨的物理机制和作业效果检验等研究。飞机云物理探测主要使用美国机载云粒子测量技术(DMT)^[3], DMT 可以观测大气中直径为 $0.6 \sim 6200 \mu\text{m}$ 范围内的气溶胶及云降水粒子, 包括综合气象要素测量系统(AIMMS-20)(用于测量温度、气压、动压、湿度、风速、风向、垂直风速、飞行经纬度等)、降水粒子图像探头(PIP)、云粒子图像探头(CIP)、云和气溶胶探头(CAS)、云凝结核计数器(CCN)、热线含水量仪(LWC)等。飞机外场探测航线设计非常重要, 不同研究目的具有不同的探测设计, 飞机探测航线的设计直接关系到探测资料是否可用。

河南省为了加强飞机人工增雨作业探测工作, 2011 年改装了一架运-8 飞机^[4], 飞机上可以安装用于人工增雨催化作业的烟弹、烟条和液态二氧化碳播撒装备, 同时也可以安装 DMT 云微物理探测设备。2013 年, 河南省由于云微物理探测的需要又租用一架用于增雨作业探测的运-12 飞机。本文根

据河南省人工增雨探测分析研究的需要并结合行业专项《层状云人工增雨作业条件识别和效果分析技术研究》飞机外场探测, 探讨了云微物理探测目的及相应飞机探测方案设计。

1 飞机云微物理探测设计

飞机云微物理探测在人工增雨中主要用于云结构分析研究、作业条件分析研究、催化作业效果检验分析等。根据研究需要, 下面具体针对 5 种探测目的进行了相应的飞行探测设计。

1.1 典型锋面云系垂直剖面结构探测设计

探测目的: 云微物理垂直剖面结构对于研究云的降水机制和过冷水分布都非常重要。然而, 一般飞机探测得到的是航线上的云微物理量, 很难得到整个空间剖面结构。该项探测的目的在于获得典型锋面云系垂直剖面微物理参量分布, 进而进行相关分析研究。比如可以分析研究锋面云系结构及降水机制, 可以结合数值模式进行分析研究, 改进模式微物理方案及参数, 可以分析锋面云系过冷水分布特征, 建立人工增雨概念模型, 指导人工增雨科学作业。

探测设计: 首先选择探测位置, 选取锋面云系回波带中部与云系移动方向平行的垂直剖面作为探测

面。采用两架飞机进行探测。第 1 架飞机(使用机动性能较好的飞机,主要用于垂直探测)在选取的探测面与云系回波带相交的前部、中部、后部分别作垂直探测。如图 1a 所示,垂直探测的方法是飞机飞行到探测目标地后爬升至云顶,从云顶一直盘旋下降探测到云底,盘旋半径为探测飞机的最小飞行半径,盘旋下降的高度以 300 m 为间隔。第 2 架飞机采用阶梯式上升或下降(图 1b)进行多次探测。具体飞行方法是从探测面与回波带交叉边缘开始,以 600 m 为层间间隔,由云底开始,每层水平飞行 5 min,然后爬升到上一层,一直飞到云顶,后仍以 600 m 间隔逐层下降平飞 5 min,如果飞机到达探测面与回波带交叉边缘则调头按前面方法继续飞行,直到飞机用完安全飞行时间。两架飞机在同一探测面飞行如果空域比较困难,可以在相隔一定的安全距离的两个平行探测面飞行。该部分探测设计参考了文献^[3,5]。

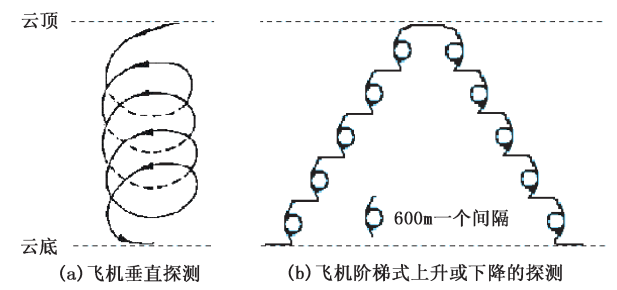


图 1 飞机垂直探测和阶梯式上升或下降探测示意图

1.2 降水性层状云垂直结构探测

探测目的:降水性层状云具有维持时间长、范围广、云层稳定少变等特点,适宜飞机人工增雨作业^[6]。深入研究降水性层状云垂直结构特征对于改进人工催化方案、提高增雨作业条件选择的科学性是十分必要的。由于降水性层状云水平结构比较均匀,因此层状云局部的垂直结构探测具有一定的普遍性,能基本反映降水性层状云的垂直结构特征,对于分析层状云的降水机制十分必要。

探测设计:降水性层状云探测区域选择在均匀稳定回波区中间区域,具体飞行方法是从探测区云底开始,水平飞行 5 min,然后折回爬升到上一层平飞 5 min,两层间隔 600 m,一直这样往返飞行到云顶,然后下降 300 m 后,折回平飞 5 min,接着仍以 600 m 间隔逐层折回下降平飞,直到云底。

1.3 人工增雨催化作业效果检验飞行探测

探测目的:人工增雨催化作业效果检验探测是为采集与人工增雨后的物理过程变化有直接或间接关系的物理学信息,只有通过周密的设计才能使物理检验所提供的信息具有更高的价值^[7]。催化作业效果检验探测的目的是验证人工增雨作业催化效果、改进人工增雨技术方法、更加科学合理制定增雨作业方案。

探测设计:催化作业效果检验需要在选取作业区时考虑与作业区云系结构相似且不受催化作业影响的对比区,因此作业云选取均匀稳定的降水性层状云或者选取较大区域结构类似的积层混合云,作业区域选取在回波区中间,面积 50 km×50 km,根据具体对比检验参量以及系统的移动方向,从其周围 8 块面积大小相同的区域(图 2)中选择 2 块(或 2 块以上)作为对比区。探测开始,飞机飞行到作业区域回波移动方向后方一侧,然后从云顶开始盘旋下降做垂直探测直到云底,盘旋下降的高度以 300 m 为间隔。垂直探测后,飞机飞行到作业层高度,在同一高度层作蛇形或者“8”字形飞行播撒,蛇形播撒时,平飞线与回波移向垂直,平飞线之间距离 3~6 km;“8”字形播撒时,“8”字应与回波移向垂直,其宽度也为 3~6 km。作业完成后,沿作业区域对角线从回波移向前方一侧向后方一侧飞行,飞行高度低于作业高度 300 m,到达作业区域后方一侧后,再沿作业区域中心线从后侧飞到前侧,飞行高度距离作业高度也为 300 m,然后在此位置做垂直探测,探测方法与前面类似。如果作业区域距离机场较远,为保证飞机在安全时间内完成作业探测,可以减小作业区面积(如减小为 30 km×30 km)。如果使用运-12 飞机进行作业探测,在云顶较高飞机难以到达的情况下,可以重点在 0℃层与作业层高度之间垂

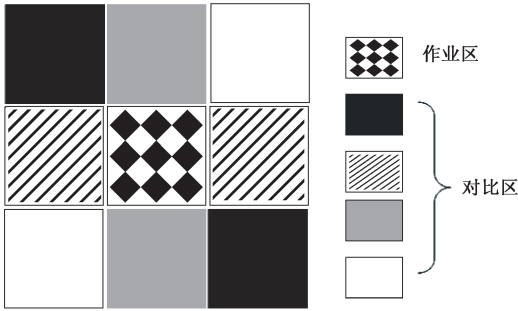


图 2 作业区和对比区分布

直探测,具体可以参考文献^[8]。

1.4 云中过冷水探测

探测目的:人工增雨作业条件之一为云中存在过冷水。张纪淮等^[9]指出对流云中过冷水区比层状云中清楚,层状云中对流泡区域和新生云区会有过冷水滴和催化潜力。探测设计时可以考虑对这一观点进行验证。河南省降水天气系统主要有来自西北的低槽冷锋、来自西南的倒槽,以及中部的切变线等。云中过冷水的飞机探测主要针对这三种典型天气系统进行设计。

探测设计:云中过冷水探测采用水平飞行穿越云系。选择云系中段位置,从云系回波区移动方向前侧穿越整个回波区到后侧,飞行高度在-5℃层。穿越到回波区后侧后,飞机调头在-10℃层高度继续穿越飞行到回波区前侧。如果回波区宽度较窄,飞机安全飞行时间宽裕,可以按前面的方法在-3℃、-8℃层继续穿越云系飞行探测。

1.5 催化剂在云中的扩散及其物理响应的观测

探测目的:人工增雨催化作业后的物理响应对人工增雨效果分析具有重要意义。余兴等^[10]研究指出实施飞机人工增雨后在 NOAA-14 卫星资料观测到云迹线,分析表明播云云迹为冰晶化的云沟,云沟内暖外冷、有增温效应、是播云所致。然而,播云后出现云沟现象在我国到目前有记载的只有一次,本探测设计的目的就是希望能够重复观测到云沟现象,以此证实人工增雨播云的有效性。

探测设计:根据 FY-3A/B 卫星扫过河南时间来进行催化作业设计。在卫星扫过前利用飞机持续在低于-5℃云体中上部同一高度层进行催化作业。飞机采用“8”字形或者正方形(图 3)进行飞行作业,飞行区域尽可能覆盖卫星扫描到的河南省符合增雨作业条件的区域。

FY-3A/B 卫星扫过河南的时间确定:FY-3A 扫描河南省时间在 10:05—11:40,FY-3B 扫描河南省时间在 13:10—14:45,大致 5 天一个周期,即 5 天后扫描同一区域,但时间上相差 5~10 min。该探测试验成功的关键在于当卫星扫过河南时,飞行作业刚好完成或者已完成大部分作业。

2 飞机云微物理探测设计应用

2013 年 3 月 25 日,河南受 500 hPa 高空低槽

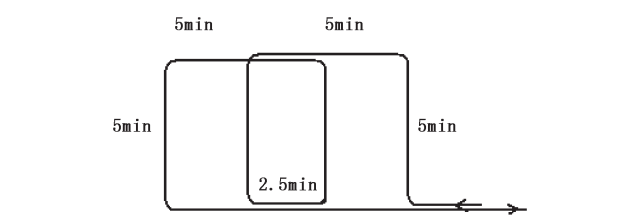


图 3 正方形 2 圈飞行示意图
(5 min、2.5 min 分别表示平飞 5 min 和 2.5 min)

和 700 hPa 切变线影响,有一次降水天气过程。25 日 20:00 850 hPa 上高度场呈西低东高的形势,西部存在低涡,东部高压脊后的南风带来南海的水汽,两股势力形成对峙,在对峙区具备良好的人工增雨潜力。飞行探测设计目的是人工增雨催化作业效果检验,按前面方法设计了探测作业航线。飞机实际飞行航线如图 4 所示,21:00 左右飞机起飞,21:40 到达淮阳,先进行垂直探测(图 4 中左边黑圈所在位置),随后进行“8”字形催化作业,催化作业时间为 21:53—22:37,作业完成后飞机回穿探测,然后在系统下风方向进行垂直探测(图 4 中右边黑圈所在位置)。本次飞行作业探测基本上按照前面探测设计要求进行。

初步分析了作业前后 CAS 和 CIP 探头观测的粒子变化情况,从表 1 可以看到,催化作业前 CAS 所观测的小粒子平均浓度为 22.482 63 个/cm³,作业后小粒子明显减少到 1.169 094 个/cm³,而 CIP 所观测的较大粒子平均浓度从作业前平均 0.043 342 个/cm³ 增加到 0.068 362 个/cm³。一般来说,CAS 观测的小粒子浓度较高表明过冷水较多,因此上面这种粒子变化情况初步说明人工催化消耗掉部分过冷水,使大粒子浓度有所增加,起到了一定催化效果。

表 1 CAS 和 CIP 探头所观测粒子平均浓度		
作业前后变化情况		个/cm ³
		CAS 观测平均浓度 CIP 观测平均浓度
作业前(21:53—22:37)	22.48263	0.043342
作业后(22:37—22:46)	1.169094	0.068362

注:飞机在相同高度催化作业时,一般飞机探测的云尚未受作业影响,看作作业前,而催化作业后降低高度回穿探测时,由于可能受催化影响,看作作业后。

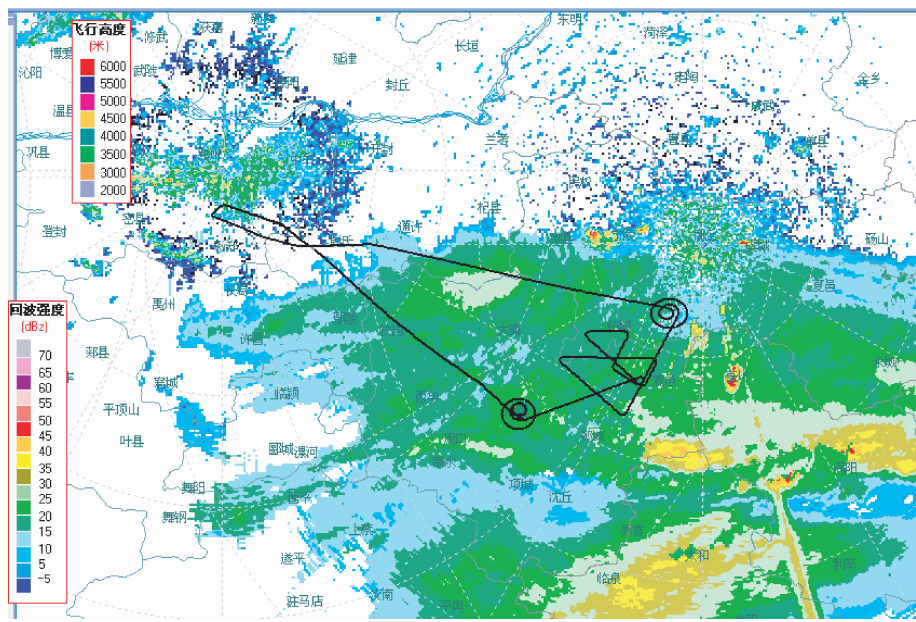


图 4 2013 年 3 月 25 日飞机人工增雨催化作业效果检验飞行探测航线

3 小结

飞机外场探测试验是一项技术性、复杂性很高的系统性工作,除了进行科学的探测设计外,还需要进行相关配套资料的观测,如雷达、卫星、探空、地面雨量、雨滴谱和宏观天气纪录等。其他探测必须以飞机探测工作为核心,获得具有时间和空间配套的综合观测资料才能更好的进行相关分析研究。此外,飞机探测飞行受空域以及强积冰的影响,探测飞行过程中遇到空域限制区域时一般采用绕飞通过,然后再按设计航线飞行,遇到强积冰时则通过提高作业探测高度规避风险,同时在飞机作业探测宏观记录上进行说明。

需要说明的是,本文探测设计时,探测高度间隔均为 300 m 或其倍数,主要是考虑到我国现行飞行高度层标准为 8400 m 以下,垂直间隔为 300 m。

本文探讨的飞机探测目的和探测设计并非很全面,随着飞机探测和人工增雨研究的深入,将会不断优化和完善。

致谢:感谢中国气象局人影中心周毓荃研究员对本文的指导。

参考文献

[1] 黄美元,徐华英. 云和降水物理[M]. 北京:科学出版社,1999.

[2] 姚展予,濮江平,刘卫国,等. 飞机探测云物理数据集的建立和应用[J]. 应用气象学报,2004,增刊:68-74.

[3] 孙鸿娉,李培仁,闫世明,等. 华北层状冷云降水微物理特征及人工增雨可播性研究[J]. 气象,2011,37(10):1252-1261.

[4] 杨建元,鲍向东,李航航,等. 人工增雨飞机的改装技术及实践[J]. 气象与环境科学,2012,35(3):85-89.

[5] 陈保国,栗珂,雷恒池,等. 典型层状云系催化试验的云物理响应研究[J]. 高原气象,2010,29(4):1036-1042.

[6] 石爱丽. 层状云降水微物理特征及降水机制研究概述[J]. 气象科技,2005,33(2):104-108.

[7] 黄美元,沈志来. 半个世纪的云雾、降水和人工影响天气研究进展[J]. 大气科学,2003,27(4):536-551.

[8] 陈保国,雷恒池,郭强,等. 基于 GPS 技术的云物理综合探测航线设计[J]. 西北大学学报:自然科学版,2008,38(5):842-844.

[9] 张纪淮,苏正军,关立友. 云中过冷水滴存在和冻结机制的研究和探讨[C]//第十五届全国云降水与人工影响天气科学会议论文集(I),2008:402-403.

[10] 余兴,徐小红,戴进. 过冷层状云 AgI 播云效应区的 NOAA 卫星反演分析与数值模拟[J]. 自然科学进展,2007,17(2):225-232.

Design of Aircraft Cloud Microphysical Detection in Henan

Huang Yimei¹ Pu Jiangping² Shao Zhenping¹ Bao Xiangdong¹

(1 Center of Weather Modification of Henan Province, Zhengzhou 450003;

2 PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101)

Abstract: Artificial precipitation enhancement is an experimental science, in which detection and field operations are its key tasks. According to the needs of artificial enhancement precipitation operations and aircraft detection analysis and researches, the detection purposes and the corresponding designs of five cloud microphysical detection operations are discussed: the typical vertical profile of frontal cloud system structure, the vertical structure of precipitating stratus detection, the effectiveness of artificial enhancement precipitation seeding, supercooled water in clouds, and the diffusion of catalysts in clouds and their physical responses. The aircraft detection operation on 25 March 2013 is taken an example, to explore the effectiveness of artificial enhancement precipitation seeding.

Key words: aircraft precipitation enhancement, cloud microphysical detection, operation design