

## 层状云人工增雨条件识别和效果分析技术

【项目编号】GYHY201206025

【研究周期】2012年1月-2014年12月

【国拨经费】342万元

【项目负责人】周毓荃

【项目骨干成员】史月琴 孙晶 刘卫国 蔡淼 陶玥 王飞 李培仁 孙鸿婷  
李宝东 孙玉稳 鲍向东 黄毅梅 侯明生 濮江平 陈英英  
杨文霞 蔡兆鑫 闫非 彭冲 朱冰 唐雅慧 宋灿

【项目承担单位】中国气象科学研究院

【项目协作单位】河北省人工影响天气办公室 山西省人工降雨防雹办公室 中国人民解放军理工大学气象学院 河南省人工影响天气中心

【主要研究成果】

**（1）开展了外场观测试验方案设计和试验研究：**提出了四类不同观测目的飞机探测/作业方案，建立了以飞机云物理观测为核心的华北层状云增雨作业数据资料集。开展了有设计的飞机云物理探测和作业试验，得到了层状云宏微观特征统计结果，改进了人工增雨作业指标。

**（2）优化基于卫星和雷达等观测的云结构特征参量反演融合技术，形成云降水特性监测产品：**实时获取FY2系列静止卫星观测数据及我国L波段探空秒数据，优化升级了人工影响天气云降水特征参量静止卫星产品云参量反演系统（CPPS-GSSL2.0），生成云顶温度等7类云宏微观产品并业务发布；研究建立了基于机载云物理观测的云降水粒子全谱的分析方法及沿飞行轨迹的雷达垂直结构分析方法；探索了微波辐射计、地基云雷达、微雨雷达、激光云高仪等遥感观测云物理参数提取分析技术，研究提出卫星、雷达、探空、飞机、地基等多源观测的时空处理方案和云特征参量分析显示方案。

**（3）研究建立基于飞机、卫星和雷达等综合观测的层状云作业条件监测识别方法：**基于飞机、卫星和雷达等综合观测，建立作业条件监测识别方法，通过对飞机云物理探测的粒子谱、粒子有效直径和含水量的统计分析，以及飞机结冰时段的云粒子浓度和含水量的统计，验证提出了用温度和粒子浓度阈值识别过冷水区的方法；利用飞机云物理探测识别的过冷水区，研究了过冷水区的卫星云特征和雷达回波结构特征，提出了多光谱合成、T-Re结构特征和云参数谱分布特

征的过冷水卫星监测识别方法，以及雷达回波顶温、强度和梯度联合识别过冷水潜在区的方法，综合建立了层状云人工增雨作业条件监测识别方法和指标体系。

（图 1）

**（4）建立了不同催化方式扩散计算方案，提出充分催化的作业方案设计；开展了人工增雨作业影响区计算及催化效果物理响应的分析研究，提出了一套适合层状云的区域多参量动态对比效果检验方法（K 值法）：**根据自由大气中的物质传输扩散方程，针对高炮、火箭、飞机等不同作业方式，考虑不同云系的湍流交换系数，提出相应的催化扩散计算方案，并推导出其解析解，建立不同催化方式的催化扩散方案。并在此基础上提出目标区充分催化的作业方案设计，给出实际作业后催化剂的影响范围演变规律研究。根据华北地区层状云云系特性的长时间飞机和遥感观测研究，建立了一套针对均匀性层状云的区域多参量动态对比效果检验方法，并逐步全国推广应用。该方法不仅可针对个例实时开展多参量的物理检验，同时还可面向多个个例开展多元统计分析，得到定量评估结果。目前已集成至 CPAS 业务系统投入业务，广泛应用在多次重大应急保障效果分析，实现作业过程实时评估，示范全国。（图 2）

**（5）研发了云降水显式预报系统，实现产品业务发布，实现层状云结构和增雨作业条件的模拟研究：**建立了云降水显式预报系统（CPEFS\_V1.0），首次实现了全国云场 3km 水平分辨率的分区预报，每日两次业务化运行，对云系宏微观结构进行实时预报。提出了冷云催化增雨作业条件预报方法和云场检验方法。模拟得到了不同天气类型的层状云结构特征和增雨潜力。（图 3）

**（6）实现层状云增雨作业效果的模拟研究：**以 CPEFS\_V1.0 模式为基础，在模式的 CAMS 方案中耦合了两类冷云催化模块，实现了对 AgI 类催化剂和液态致冷剂催化过程的数值模拟，建立了中尺度冷云催化模式。该模式系统能够实现飞机火箭和高炮等不同方式人工增雨作业催化过程的似真模拟和催化效果的分析，为提炼作业区域、部位和剂量等作业方案指标的优选和作业效果的评估提供依据。该催化模式系统曾对多次增雨、消减雨等作业过程和重大活动保障的效果开展了数值模拟评估，并给出了定量或定性的评估结果，发挥了重要作用。（图 4）

**（7）建立了层状云增雨作业天气分型和概念模型指标：**基于对人工增雨条件多尺度的认识，提出了人工增雨多尺度概念模型和指标体系建立方法，开展了河北、山西、河南、湖北外场试验区春秋季节人工增雨作业天气类型分型研究，得到统计结果。提炼了低槽冷锋、低槽无冷锋、低涡气旋、低涡无冷锋等不同天气类型的增雨作业概念模型和指标体系。（图 5）

**(8) 云降水精细处理分析系统（CPAS）优化升级及应用示范：**以云降水物理精细处理分析（自然和催化）和人影决策指挥（方案和指令）为核心，升级了 CPAS 系统结构和各种功能：实现了多类监测信息（卫星、雷达、探空、雨量、飞机微物理、人影特种资料等）的云降水反演加工、集成显示、综合交互分析、智能识别计算等云物理宏微观结构实时综合处理分析功能，实现了作业条件潜力分析预报、作业条件监测预警、飞机增雨作业方案设计和跟踪实时指挥、地面增雨作业实时预警和指挥、作业效果物理检验和作业效果统计检验等人工影响天气决策指挥功能；建立了国家级人影综合处理分析系统（CPAS\_WMC），全面支撑国家级人影作业指挥业务；初步建立了三个试点省(山西、河北、河南)的人影综合处理分析与指挥系统，提升了人影的科技水平和人影五段业务现代化水平。（图 6）

### 【成果应用情况】

**(1) 外场观测试验方案设计：**开展了飞机探测和作业飞行设计，共研究建立了四种飞机作业探测方案：①降水云系结构探测飞行方案；②云中过冷水探测方案；③充分播撒飞机作业方案；④增雨效果飞机检验方案。在河北、山西、河南省人影部门开展了飞机探测作业本地化业务应用，将过冷水探测、降水云系结构探测、飞机充分播撒作业、作业效果飞机探测等方案应用于当地人工增雨业务的航线设计中。此方案对于三省飞机增雨业务具有重要的指导意义，有效的提高了三省飞机探测和作业的科学水平，达到了良好的增雨效果。2018 年，《人工影响天气业务现代化建设三年行动计划》终期评估中，河北、山西省的飞机在作业方案设计合理性的比例超过 85%，河南省的飞机方案设计合理性比例超过 70%。

**(2) 云结构特征参量的反演融合技术及产品：**项目组研发人工影响天气云降水特征参量静止卫星反演系统（GPPS-GSSL2.0），于 2014 年 7 月，通过减灾司业务化评审和验收（气减函[2014]73 号）。7 类人影云宏微观特征云参量静止卫星反演产品通过人影产品共享发布网站和 CMA-CAST 系统每 30 分钟一次向全国各省实时业务推送。这些云参量产品在各地作业条件监测识别和模式检验中广泛应用，提高了人影作业条件监测预警的准确率，有效推进各地人影作业的科学化和规范化实施，在抗旱增雨和防雹等日常业务、重大活动保障和森林草原扑火等应急服务中起到了重要作用。

**(3) 过冷水的飞机探测识别方法：**项目组从飞机结冰、不同观测手段和机载实测粒子图像等三个方面，验证提出了温度和云粒子浓度判别过冷水的方法。该方法有利于登机作业人员实时快速判别作业条件，有效提高了作业时机和部位

判别的合理性。相关方法不仅在全国有机载云物理探测的省份得到广泛应用，为各地作业条件实时识别和人工增雨作业时机决策等提供依据。同时，过冷水也是飞机结冰的重要因素，本项目成果在国产大飞机结冰试验以及直升机结冰试验飞行中得到广泛应用，为飞机结冰条件监测预警和实时判别提供有效手段。

**（4）不同催化方式扩散计算模式，提出充分连片的播撒作业设计，实现了人工增雨作业影响区计算及催化效果物理响应的分析：**相关系列方法和方案 2013 年集成至云降水精细处理分析系统（CPAS）以来，实现飞机作业科学设计和作业效果的实时检验，在国家级开展应用后，完成多次重大活动人影保障以及森林草原扑火等应急人影作业方案科学设计和作业效果的评估。在全国 20 余省的人工影响天气实际业务中得到推广应用，有效推进了人工影响天气的作业设计和效果检验业务的发展。2018 年全国三年行动计划终期评估显示全国飞机作业基本消除的“空心汤圆”等不合理的飞行作业，全国飞机作业业务质量得到明显提高。

**（5）层状云结构和增雨作业条件的模拟：**CPEFSv1.0 系统已在中国气象局人工影响天气中心业务运行，预报产品在全国人影业务单位人工增雨 5 段业务流程中的作业条件预报和作业预案制定中得到应用，为科学实施作业提供有力支撑。在 2015-2017 年“人工影响天气业务现代化建设三年行动计划”期间，各省按照项目提出的作业条件潜力落区预报分析方法和作业预案检验方法开展了业务工作，76.7%的省级作业潜力预报产品发布率达到 100%，作业预案合理性比率 60%以上。

**（6）层状云增雨作业效果的模拟：**CPEFS-SEED 模式在项目研究中发挥了重要作用，并在人影业务试验中进行了应用，结合人影现代化“三年行动计划”的执行，使用该模式针对全国近 10 个省份一些飞机增雨作业过程开展了催化数值模拟和效果评估的业务试验。该模式在 2015 年“9.3”重大活动、2016 年 G20 活动保障、2017 年天津全运会等一些重大活动的人影业务保障中也发挥了重要作用，通过 CPEFS-SEED 模式对保障服务中飞机消减雨作业过程进行数值模拟评估，给出了作业效果的评估意见。

**（7）层状云增雨作业天气分型和概念模型指标：**提出的概念模型和指标建立思路和方法已在全国人影业务单位推广应用，在 2015-2018 年“人工影响天气业务现代化建设三年行动计划”期间，多次组织召开全国概念模型和指标建立研讨会。在 2018 年《人工影响天气业务现代化建设三年行动计划终期报告》中，各省基本对本省典型云系的增雨或防雹作业概念模型及指标体系开展了研究，结合本省在概念模型和指标体系的科学基础，通过多种监测资料统计分析或数值模

式，进行了典型云系天气分型、概念模型或作业指标提炼，初步建立了至少 1 类典型云系的概念模型或作业指标。

**（8）云降水精细处理分析系统（CPAS）优化升级及应用示范：**系统已在国家级和全国 28 个省 800 多个市县得到推广应用。各地移植建立了以 CPAS 为核心的人影业务系统，有效指挥飞机增雨作业和指挥地面增雨防雹作业，高效制作发布各类预案方案报和作业指令。系统实现我国人工影响天气的作业条件潜力预报、作业条件监测预警、作业方案设计、作业跟踪指挥和作业效果检验等人影 5 段业务一体化功能；有力支撑了国家级人影指导、指挥和服务等实时业务从无到有有效开展；有效促进了国家-区域-省-市县等各级人影业务的建立和全国逐级指导的现代人影业务流程的建立和实施；CPAS 作为我国人影核心技术平台，支撑了全国各地人工影响天气实时业务。对促进全国“横向到边”“纵向到底”人影业务体系的构建和人影科学现代化发展做出了重要贡献。近 20 次应用于重大和应急服务一线，发挥关键作用：包括奥运会、新中国成立 60 周年阅兵、南京青奥会、“9·3”阅兵、杭州 G20 峰会、天津全运会以及建党 100 周年保障等。

【成果代表图片】

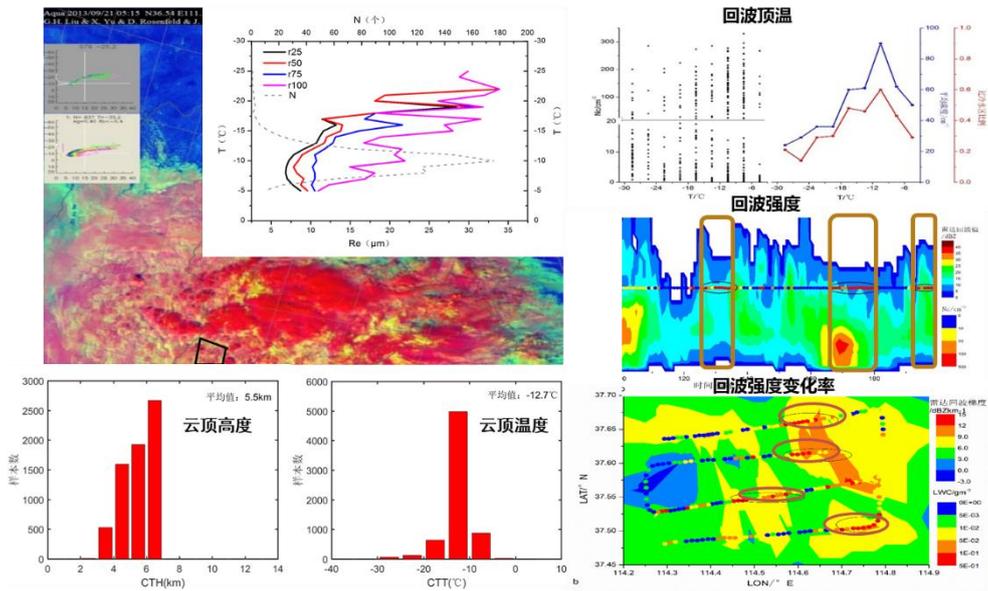


图 1 过冷水和人工增雨作业条件的飞机、卫星和雷达遥感观测识别方法

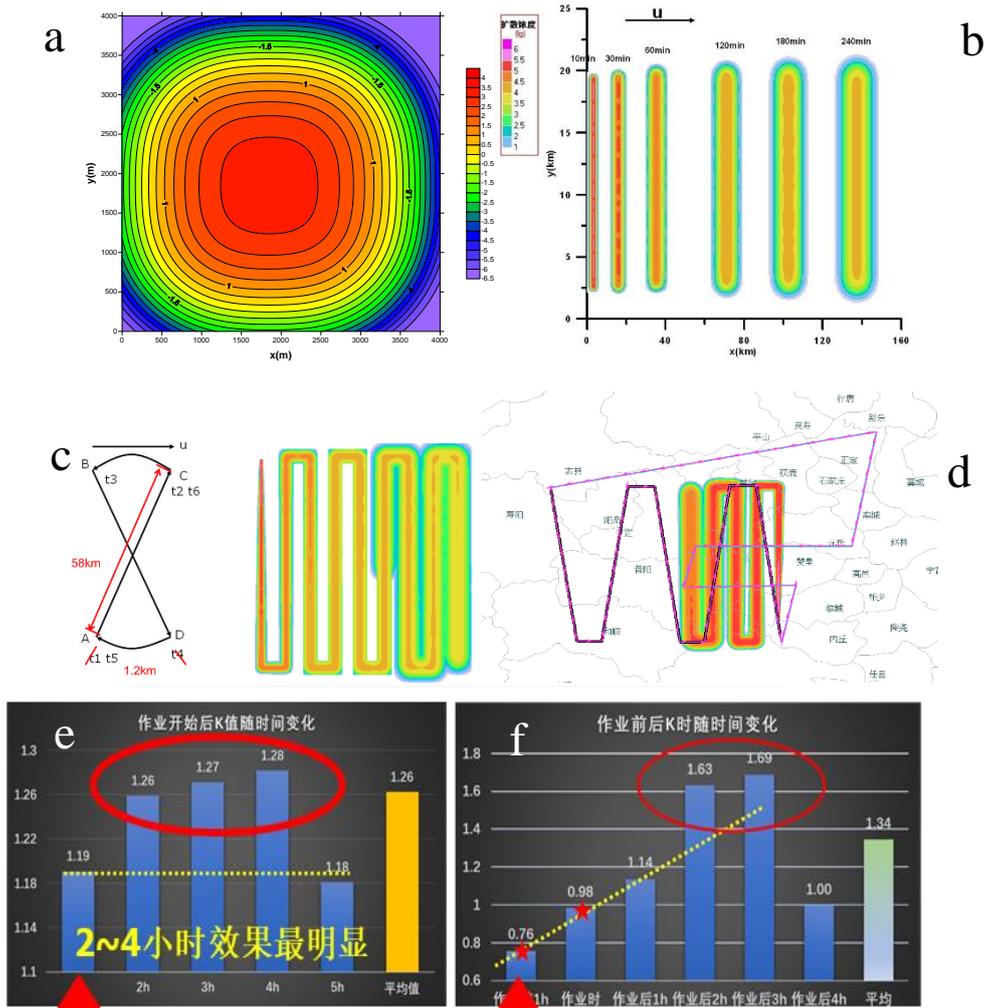


图2 不同作业方式催化扩散传输计算和充分连片的播撒作业设计及区域多参量动态对比效果检验：

(a):地面高炮作业（点源）催化剂扩散和传输；(b)：火箭、飞机作业（线源）催化剂扩散和传输 (c) 8字形作业设计及作业影响区计算；(d)：几字形作业设计及作业影响区计算；(e)：陕西22次层状云飞机作业增雨效果的K值统计；(f)：湖北26次积层混合云地面增雨作业效果的K值统计。

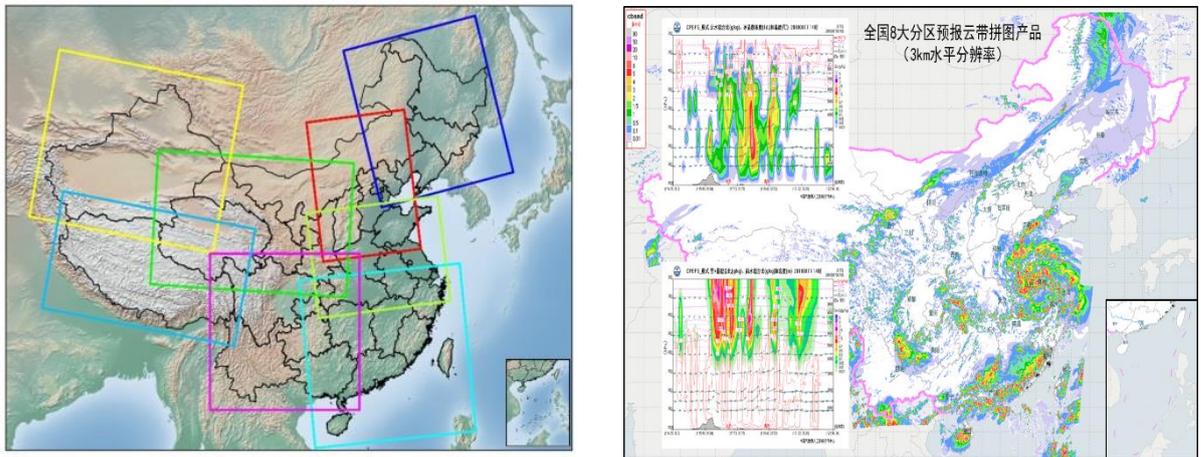


图3 云降水显式预报系统（CPEFS\_V1.0）全国分区预报

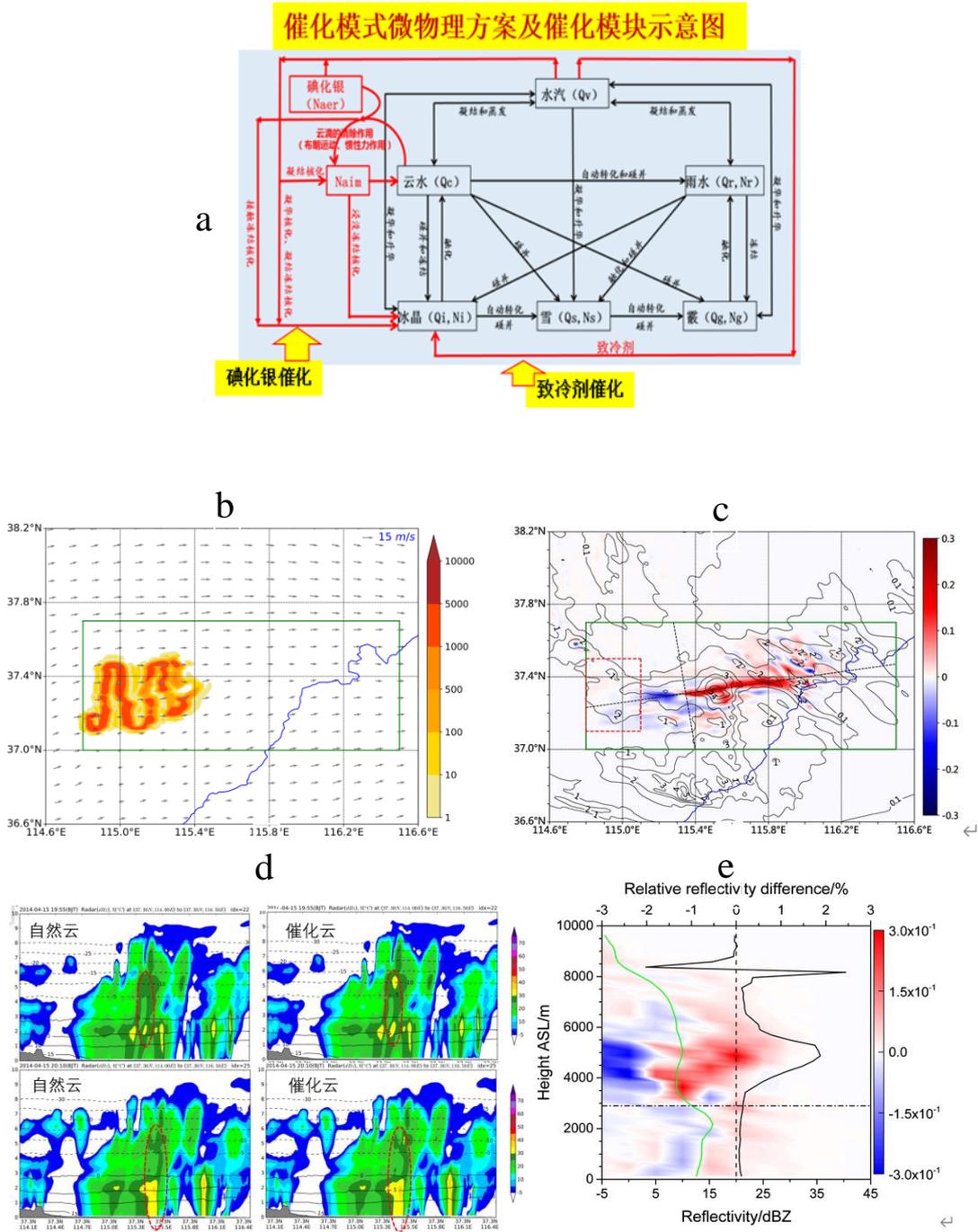


图4 飞机催化过程模拟及催化效果（2014年4月15日个例）

（a）催化模式微物理方案及模块示意图；（b）模拟的飞机作业轨迹上碘化银粒子的扩散；（c）催化作业后地面降水的变化；（d）与未催化的自然云对比，催化云雷达回波垂直剖面上的变化；（e）催化后雷达回波变化的时空统计特征。

# 公益性行业（气象）科研专项项目成果信息速递

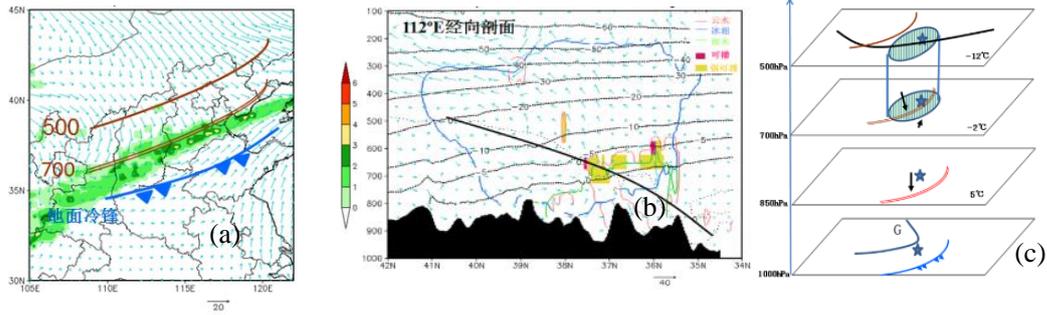
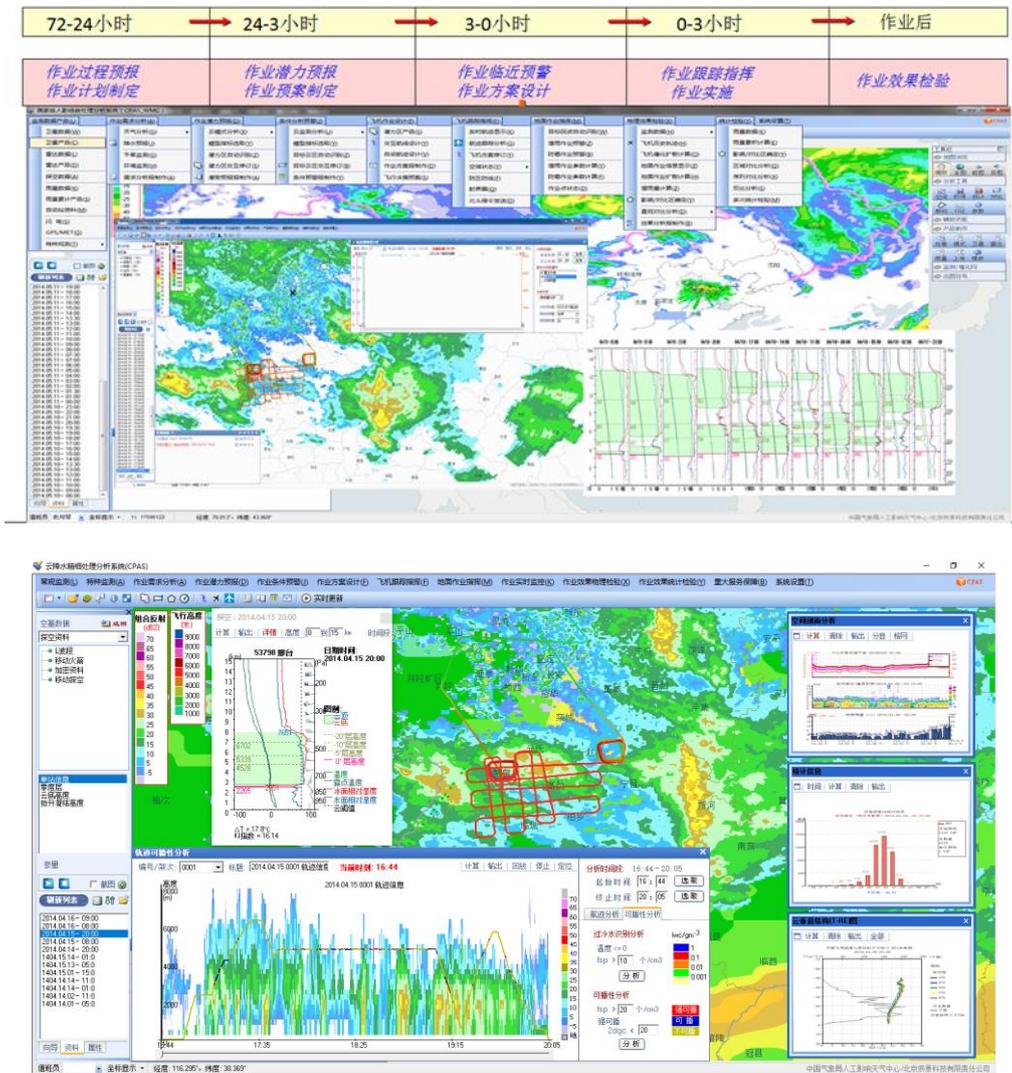


图 5 低槽冷锋天气系统增雨作业概念模型。

(a) 可播区水平分布（阴影，单位：垂直层数）、700hPa 水平风场（箭头）、500hPa 槽线（棕粗线）、700hPa 槽线（棕双线），(b) 可播区垂直分布（阴影）、云水（红线）、雨水（绿线）、冰相粒子（蓝线）、不同高度锋面位置（黑线），(c)可播区与天气系统配置的三维立体示意图（椭圆阴影区为可播区）



# 公益性行业（气象）科研专项项目成果信息速递

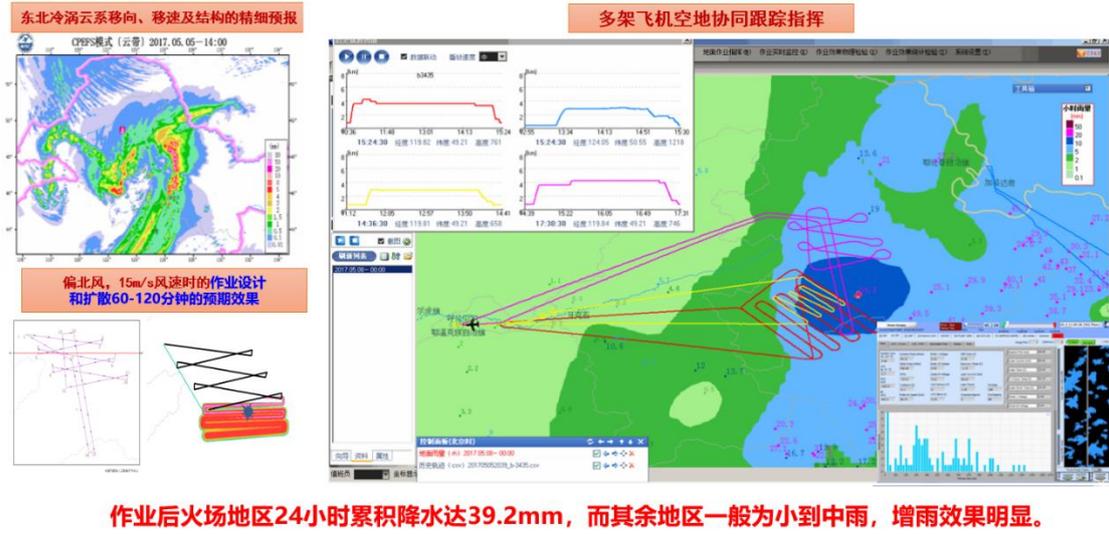


图 6 云降水精细处理分析系统（CPAS）及典型应用