西北区域人工影响天气能力建设项目总体设计与实施

李集明[1,2] 陈添宇[1,2] 陈宝君[1,2] 顾青峰[3] 殷占福[1,2] 段婧[1,2] 李宏宇[1,2]
李德泉[1,2] 方春刚[1,2] 房文[1,2] 尹宪志[4] 李林[5] 桑建人[6] 李抗抗[1,2]

（1 中国气象局人工影响天气中心，北京 100081；2 中国气象局云雾物理环境重点开放实验室，北京 100081；
3 中国气象局规划设计研究院，北京 100081；4 甘肃省人工影响天气办公室，兰州 730000；
5 青海省人工影响天气办公室，西宁 810000；6 宁夏自治区人工影响天气中心，银川 750002）

摘要：梳理了西北区域人工影响天气能力建设项目总体设计的思路，归纳了设计中所重点考虑的三个技术系统和技术措施，总结了项目建设模式与经验，可为后续区域人影项目建设提供参考和借鉴。

关键词：西北，人影，项目，设计，实施

DOI：10.3969/j.issn.2095-1973.2021.05.009

Design and Implementation of Weather Modification Ability Construction Project of Northwest China

Li Jiming[1,2], Chen Tianyu[1,2], Chen Baojun[1,2], Gu Qingfeng[3], Yin Zhanfu[1,2], Duan Jing[1,2], Li Hongyu[1,2], Li Dequan[1,2], Fang Chungang[1,2], Fang Wen[1,2], Yin Xianzhi[4], Li Lin[5], Sang Jianren[6], Li Kangkang[1,2]

(1 Weather Modification Center of China Meteorological Administration, Beijing 100081
2 Key Laboratory for Cloud Physics of China Meteorological Administration, Beijing 100081
3 Institute for Development and Programme Design of CMA, Beijing 100081
4 Office of Weather Modification in Gansu Province, Lanzhou 730000
5 Office of Weather Modification in Qinghai Province, Xining 810000
6 Weather Modification Center of the Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan, 750002)

Abstract: The general design of Weather Modification Ability Construction Project of Northwest China was briefly described in this paper. The three main technical systems were introduced. The pattern and experience of project construction were summarized. The experience in the actual project implementation process provides reference for the later construction of related projects.

Keywords: Northwest China, weather modification, the project, design, implementation

0 引言

我国自1958年开始人工影响天气试验以来，尤其是自20世纪90年代后期，各地陆续开始通过现代化建设工程开展人影作业装备、探测仪器、作业基地、指挥平台等专项建设[1-2]，部分省还进行了较大规模的人影体系建设，如1999年甘肃省人工增雨防雹作业体系工程、2000年山西省开发利用空中水资源工程、2001年安徽省空中云水资源开发利用工程、2006年青海三江源自然保护区人工增雨工程、2007年陕西渭北优势果业区人工防雹增雨及气象灾害防御体系建设等。这些人影专项和体系建设工程，使我国人工影响天气技术得到快速发展[3-5]。

西北区域包括甘肃省、陕西省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区、新疆生产建设兵团全境及内蒙古自治区阿拉善盟、巴彦淖尔市、乌海市、鄂尔多斯市（图1），是我国极其重要的生态环境屏障，自然生态环境十分脆弱，水资源短缺是影响西北区域经济社会发展的主要瓶颈和制约因素。

西北区域水资源严重短缺，而且降水时空分布十分不均匀，年降水量分布总体呈现出由山区向平原区变小的趋势。山地区一般为200～800 mm，部分高达1000 mm以上，盆地和走廊一般为40～200 mm。西北区域降水量季节性差异极大，7—8 月占年降水量的50%以上，导致春秋季农业干旱频繁发生（图2）。

收稿日期：2021 年 4 月 28 日；修回日期：2021 年 9 月 15 日
第一作者：李集明（1967—），Email：lijm@cma.gov.cn
资助信息：西北区域人工影响天气能力建设项目（ZQC-R18217）

图1 西北区域范围
Fig. 1 The region of Northwest China

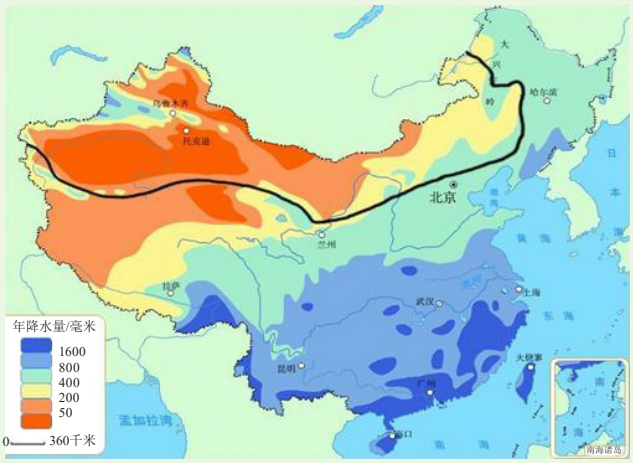

图2 西北地区年降水分布
Fig. 2 The precipitation distribution of Northwest China

人工影响天气作为科学开发利用空中云水资源的有效手段，早在20世纪50年代就逐渐成为西北区域各省（自治区）政府防灾减灾、缓解水资源短缺和改善生态环境的重要措施。经过多年发展，西北区域人工影响天气作业规模、作业能力和科研水平都有明显提高，在地区生态保护与建设、水资源和粮食安全保障等方面发挥了积极作用。但是，与区域日益增长的人影服务保障需求相比，西北区域人影工作尚存在一些突出短板，包括：飞机和地面作业装备能力不足，现代化水平和安全性能不高导致作业效益不能充分发挥；对区域内典型云降水系统特别是作业条件和云系精细化结构特征缺乏深入研究，导致作业科学性不高；区域内各级人影部门尚没有统一、集约的业务平台，科学精准指挥水平不高；区域各省（自治区）发展上不平衡，协同配合的机制尚未建立等。

为了提高西北区域人工影响天气作业能力和科技水平，更好地保障生态安全和水资源安全，服务防灾减灾和粮食安全，为“一带一路”战略实施和社会稳定和谐发展做出更大的贡献，国家发展改革委员会批准西北区域人工影响天气能力建设项目（以下简称“西北人影项目”）。西北人影项目是《全国人工影响天气发展规划（2014—2020）》[①]印发后开展的第一个国家级人影工程建设项目，其主要建设内容包括飞机作业能力、飞机作业保障能力、地面作业能力、人影作业指挥系统和试验示范基地等五个部分。同时，西北人影项目首次在人影工程项目中增设了工程研究试验内容，在试验示范基地开展人影技术研究、科学试验和成果业务化应用，以期形成人影成套技术进行推广，提高我国人影的科学水平和作业效益，最大程度地发挥工程建设效益。

1 项目总体设计

基于西北区域人影发展现状，面向区域特色需求和云降水特征，针对性提高西北人影能力、技术和机制的弱项与短板，遵循目的性、科学性、实用性、系统性和集约化与可持续原则，对项目建设目标、建设任务、功能结构、布局与流程进行设计。

1.1 目标与任务

1.1.1 建设目标

建设基本覆盖整个西北区域的飞机作业、地面作业、综合保障、作业指挥和试验示范等构成的人影作业体系，全面提升西北地区人影科技水平和服务能力，为西北区域生态建设和保护、粮食安全、抗旱减灾、森林防火等提供有力保障。同时为我国其他地区人影工程项目建设提供借鉴作用。主要建设目标如下：

1）新增飞机增雨影响面积96万 km²，飞机作业影响稳定性降水云系区域扩展到209万 km²，作业时间由目前的季节性作业拓展到全年性作业，作业对象由现在单一冷云为主拓展到除不适合飞行外的多种冷暖云系；

2）提升地面作业装备性能和信息化水平，优化作业布局，有效弥补飞机作业能力的不足，地面作业影响不稳定性降水云系的增雨面积增加13.7万 km²；

3） 促进人影自主创新和科技研发，在人影关键技术研发、人影作业试验示范和业务研发、人员培训等方面提供有力的科技支撑；

4）建立较为完善的区域级人影业务系统，在西北地区形成统一协调、区域联防、跨省区作业的人影业务能力和运行机制，基本实现国家对区域人影作业的统筹协调和业务指挥，显著提高人影业务保障和区

① 国家发改委, 中国气象局. 全国人工影响天气发展规划（2014—2020）. 发改农经[2014]2864号. 2014.

域联合作业能力。

1.1.2 建设任务

建设主要包括飞机作业能力建设、飞机作业保障能力建设、地面作业能力建设、人影作业指挥系统建设和试验示范基地建设,同时在试验示范基地和试验点开展研究试验（图3）。

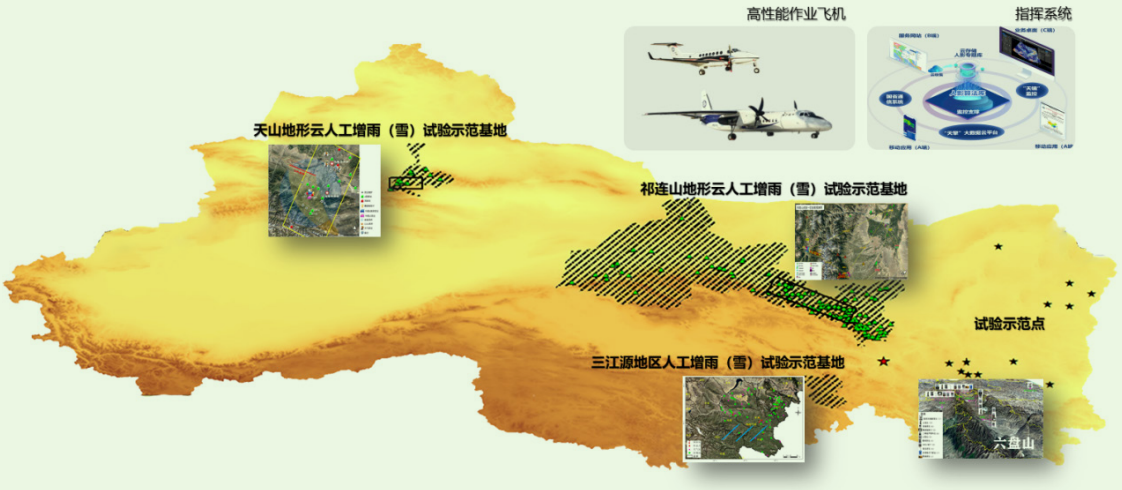

图3 项目主要建设任务和布局
Fig. 3 The main task and design layout

（1）飞机作业能力建设

购置4架国家作业飞机（2架新舟60、2架空中国王350），改装配备必要的机载大气探测设备，提高人影作业条件监测判别能力；改装配备多种催化作业装备，提高不同性质降水云系的催化作业能力；配备空地通信设备，提高探测、作业数据的通信指挥能力。改装1架地方作业飞机、继续租用7架地方作业飞机，形成国家作业飞机、地方作业飞机和租用作业飞机联合开展作业的新格局。

（2）飞机保障能力建设

在陕西西安建设1个国家级作业飞机保障基地，在兰州、榆林、平安、银川、库尔勒、克拉玛依和鄂尔多斯建设国家作业飞机驻地专业保障设施，为飞机作业提供保障服务。

（3）地面作业能力建设

更新列装高性能火箭作业装置，信息化改造地面作业装置，新建一批地面烟炉，绘制安全射界图，安装作业站点实景监控系统等，保障地面作业。

（4）指挥系统建设

建设完善区域级（兰州中心、乌鲁木齐分中心）、省级、市县级人影作业指挥平台，建设作业指挥应用软件系统，在区域级、省级和市县级部署应用。

（5）试验示范基地建设与研究试验

建设祁连山、天山、三江源试验示范基地和六盘山、渭北、巴彦淖尔等试验示范点，设立相关工程研究试验项目，吸引国内外高校、科研院所的顶级人影研究团队，联合区域内的技术力量，共同开展人影试验和研究，提高人影科技水平。

1.2 功能与结构

1.2.1 总体功能

围绕保护西北区域生态环境、缓解水资源短缺、保障粮食生产安全的核心功能，通过飞机作业、地面作业、作业保障、协调指挥、试验示范能力等的建设，具备为各级政府提供作业条件监测、决策指挥、作业实施、效果评估、突发应急等人影保障功能。

（1）人工增雨（雪）功能

形成以飞机为主的西北区域内增雨（雪）作业新格局，实现具有覆盖全区域、科学设计、统一指挥、联合飞行作业的功能。

（2）人影作业指挥功能

对各类气象监测信息、预报预测信息等及时收集，进行综合分析、判断和识别，制定科学的作业方案（作业时机、作业范围和作业部位），形成准确的作业指令及时传达到作业飞机和地面作业点，实施科学作业。

（3）人影作业效果检验评估功能

依托试验示范基地及其外场试验区观测资料，结合常规气象要素观测信息、云物理探测信息，通过作业区与非作业区、作业时段与非作业时段对比，应用统计、物理、数值模拟、综合检验等方法，对人影作业进行效果检验，利用检验结果对人影的社会、经济效益进行评估，促进作业技术水平的提高。

（4）突发事件应急功能

通过作业飞机、地面移动通信指挥平台和移动多普勒天气雷达的建立，保障人影指挥和作业的同时，在自然灾害、森林草原火灾等重大事件发生时，能够快速到达现场，具备现场气象要素测量、数据处理和控制、资料存储检索、卫星和无线通信、远程会商、现场天气预报、灾情分析统计和评估等功能，承担人影应急救灾减灾任务。

（5）气象灾害监测功能

依托现有综合气象观测网，在试验示范基地适当布设必要的探测设备，可采集大气水汽总量、降水云系中液态水和大气水汽含量的分布和变化、云体的强度和分布范围、云顶高度、云底高度、探测覆盖范围内降水强度和降水量分布等信息，在人影工作中用于作业形势分析、预报、效果检验等，同时通过气象信息系统进入各级气象台的数据库，在监测预警气象灾害工作中发挥作用。

1.2.2 总体结构

各项建设分布于各级气象部门和新疆生产建设兵团人影部门，其中人影作业指挥系统按国家和区域（含乌鲁木齐+分中心）、省（自治区）、市县、作业点共四级布设，指挥系统软件依托“天擎”、“天镜”平台按“云+端”方式建设，按不同权限登录使用；4架国家作业飞机分别布设于甘肃、陕西、青海和新疆，内蒙古建设的地方飞机布设于鄂尔多斯，租用的7架作业飞机布设于飞机租用省（自治区）；依托兰州、榆林、平安、银川、库尔勒、克拉玛依和鄂尔多斯已有业务用房和设备设施的基础上建设完善7个国家作业飞机保障基地，各省（自治区）租用飞机由当地自主确定停靠基地；地面作业设备、辅助作业设备以及作业点安全体系建设主要布局在西北区域重点保障区，兼顾试验示范基地及其外场试验的作业需求；试验示范基地和试验点分别布设在祁连山、天山、三江源、六盘山、渭北和巴彦淖尔（图4）。

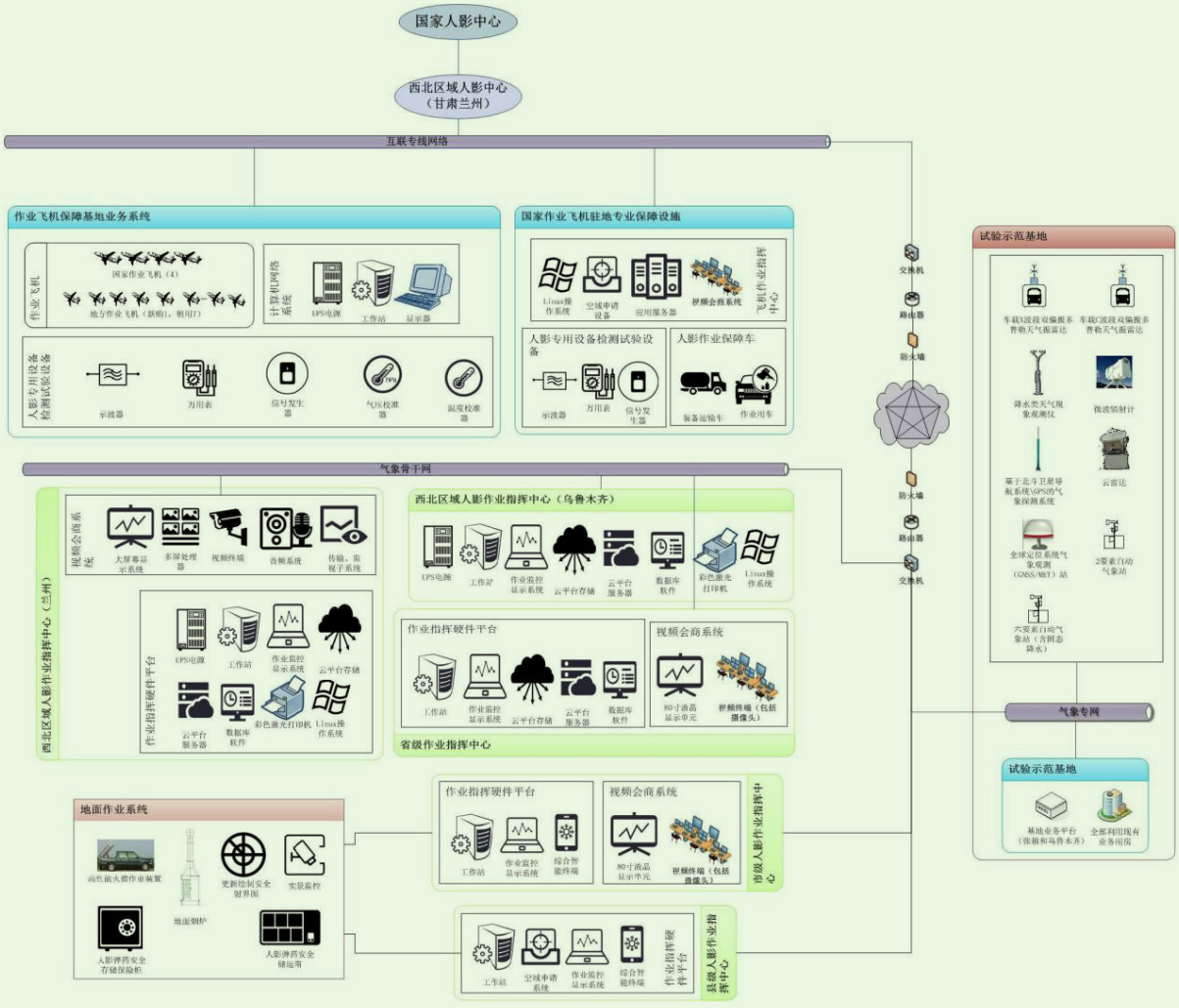

图4 总体结构图

Fig. 4 The general structure diagram

1.3 建设布局与业务流程

1.3.1 建设布局

依托西北区域现有气象业务系统的布局，在各级气象局及各观测站点、作业站点进行布设。飞机作业能力建设主要布设在祁连山水源涵养型生态保障区、三江源生态保障区、青海湖流域生态环境保障区、天山生态保障区等区域，以满足区域内生态修复、环境保护、流域水土保持等人工增雨（雪）服务保障需求；地面作业能力建设侧重布设在新疆棉花生产保障区、陕甘宁果业生产保障区等区域，以满足区域内农业生产防雹服务需求；试验示范基地主要布设在祁连山、天山、三江源等西北典型地形云增雨（雪）区域，以满足西北主要增雨（雪）类型关键技术研发应用的需求；作业指挥系统主要依托现有气象业务架构在各级气象局和作业站点布设，以便于系统的运行和维护。

1.3.2 业务流程

区域人影业务按照“横向到边、纵向到底”的原则，实现人影五段业务[①]的“作业计划（过程预报）、作业预案（潜力预报）、作业方案（监测预警）、作业实施（跟踪指挥）、效果检验”全覆盖，作业指挥实现“区域—省—市（县）—作业站”全贯穿，科学指挥西北区域人工影响天气作业。

业务流程为：国家人影中心根据西北区域的整体需求，制定作业计划下达给西北区域人影中心；西北区域人影中心与国家人影中心相互反馈有关需求和业务意见建议，并由西北区域人影中心根据国家级计划，调度区域内飞机在各省级人影平台的具体指挥下实施作业，地面火箭、高炮按照区域人影中心调度，通过区域人影分中心、6省（自治区）及新疆生产建设兵团人影平台逐级下达的指令实施作业；飞机、地面作业的信息及时上传、汇总到西北区域人影中心，由区域人影中心分析并修订作业方案，组织进行大范围作业的效果评估工作（图5）。

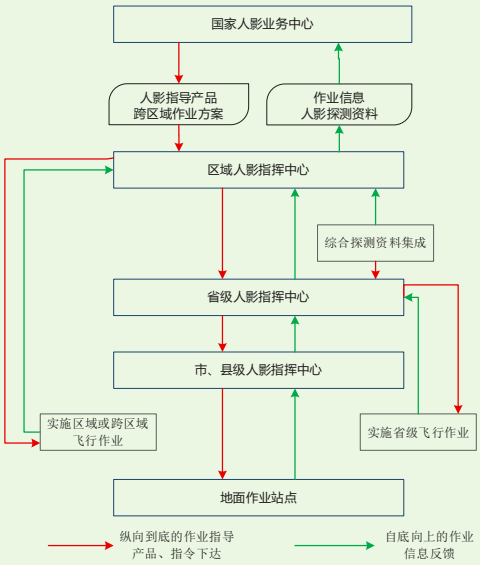

图5 业务流程图

Fig .5 The operation workflow diagram

2 关键技术系统设计与实施

考虑西北区域特色，在气象综合业务技术平台框架内，总结先期建设的“东北人影项目”经验与不足，西北人影项目重点对高性能增雨飞机、作业指挥系统和试验示范基地与研究试验进行了针对性设计，其实施成效正逐步显现，设计理念正被中部人影项目等后续人影工程建设所借鉴。

2.1 高性能增雨飞机

根据西北区域在复杂地形下实施大范围、常态化、跨区域飞机人工增雨（雪）作业的实际需求，西北人影项目建设的4架高性能增雨飞机按2架新舟60和2架空中国王350飞机选型。其中，新舟60加装适用于冷暖云催化的多种作业装备以充分发挥其载重量大的优势，从而满足西北区域作业面积广大的需求；空中国王350加装云雷达和云粒子采样探测装备以充分发挥其高低空飞行性能好的优势，从而填补西北高原/高山地区飞机作业空白并提供更多的云探测数据。高性能增雨飞机在建设中重点考虑了以下三个问题。

（1）如何拓展作业领域，提高催化能力

长期以来，飞机的主要作业对象是大范围层状云。随着人影服务需求的增加，必然要求飞机作业领域要拓宽，除通常的层状云冷云催化手段外，西北区域对飞机的地形云增雨（雪）、暖云的增雨和消减雨、高山和高原地区的人工增雨（雪）都提出了迫切要求。因此，在西北人影项目高性能飞机建设中，结合新舟60飞机特性，除加装焰条、焰弹播撒装置外，另外在机舱内安装了液氮播撒器以提高气密舱飞机播撒制冷剂的适用性；设计并安装了吸湿粉剂播撒装置以增强暖云增/减雨的能力。

考虑高山和高原区域的催化作业，建设了2架升限可达一万米的空中国王350增雨飞机。

（2）如何提高云探测能力

云内物理参量的精确测量不仅是科学开展人影作业的基础，同时也是天气、气候数值模式最需要的科学数据。在西北人影项目高性能飞机的建设过程中，除进一步完善机载各类气溶胶、云、降水探测仪器

① 中国气象局. 人工影响天气“耕云”行动计划（2020—2022年）. 气发[2019]73号. 2019.

外，在2架空中国王350增雨飞机的一架飞机还加装了云内采样头并预留了云外等速采样头接口以增强其探测气溶胶理化特性的能力；在另一架飞机上加载了Ka波段云雷达并预留了激光雷达和G波段微波辐射计的接口以提高垂直遥感遥测能力。

（3）如何加强集约化，提高应用能力

由于高性能增雨飞机加挂设备多，且多为进口设备，必然需要对机载的探测设备、作业设备、通信设备进行集成设计，以为机上业务人员提供统一的操控平台。这项工作虽然在东北人影项目的高性能增雨飞机建设时初步实现了，但实际应用过程中也暴露了不少问题，如：集成度不高、操控不方便、缺乏作业指标判识等。有鉴于此，在西北人影项目设计和建设中，重点考虑了增强增雨飞机集成度问题，主要采取了三点措施：一是通过对进口探测设备底层数据接口的解算，用国产软件替代各设备自带的处理计算机，为集成系统提供一致的数据接口；二是增强通信、催化和探测信息之间的交互与融合，提高系统整体性和操作的便捷性；三是结合研究试验等确定的作业指标，实时分析云中物理参量，给出实际的作业条件判识结果，帮助机上作业人员更科学和有针对性的操控催化作业装备。

目前，第一架新舟60增雨飞机已经完成出厂验收，交付陕西省气象局即将投入业务运行，另一架也将于近期交付甘肃省气象局；空中国王350增雨飞机的改装已基本完成，集成工作正在紧张进行，预计9月份交付使用。

2.2 作业指挥系统

东北人影项目建成了我国第一个统一的区域—省—市—县人影指挥平台，实现了现代人影完整的业务流程和指挥流程。但近几年气象信息化发展迅猛，气象大数据云平台架构成为了所有气象业务系统必须遵循和融入的基础技术平台，而东北的人影作业指挥系统显然还较为独立和封闭，在数据共享、算法共用、产品显示等方面难以实现互通和借鉴。因此西北人影项目作业指挥系统设计时，着重考虑了与气象大数据的融合、格式标准的对接、显示风格的统一、人影算法的通用和开放，按“云+端”的思路，设计了“云收集、云存储、云计算、云服务”的系统架构，其中“云服务”按App（手机端，简称A端）、Browser（网页浏览端，简称B端）和Client（客户端，简称C端）三种服务方式设计。

西北作业指挥系统的建设与中国气象局“天擎”、“天境”同步，其数据环境、计算环境、监控环境都基于气象大数据云平台基础架构。C端则基于Micaps（Meteorological Information Comprehensive Analysis and Process System）进行人影业务功能插件的设计开发，实现了显示风格统一和操作界面一致以更符合各级人影指挥人员的使用习惯。人影算法汇集传统算法、专家算法以及西北区域各省的业务指标算法，并且提供了个性算法汇入接口，搭建了算法“众智平台”，为今后算法升级、拓展提供支撑。

作业指挥系统按“作业计划（过程预报）、作业预案（潜力预报）、作业方案（监测预警）、作业实施（跟踪指挥）、效果检验”五段业务设计了相关业务指挥功能，并通过A端、B端和C端，实现作业指挥“区域—省—市—县—作业站”全贯穿，满足各级人影作业指挥的需求。

2.3 试验示范基地与研究试验

（1） 试验示范基地

2015年，世界气象组织（WMO）关于人工影响天气的声明[6]认为，就当前的认识水平而言，在合适的条件下，用成冰性催化剂催化过山气流形成的混合云，对增加其降水量具有最好的经济前景。地形云是西北地区重要的降水云系，也是人工增雨（雪）主要作业对象[7-9]。

因此，开展地形云人工增雨（雪）研究试验是提高西北区域人影科技水平和作业效益的重要途径。西北人影项目选择西北最具代表性的地形云区域，同时也是我国重要的生态保护与修复区域——祁连山、天山、三江源和六盘山等，设立了地形云人工增雨（雪）试验示范基地，科学规划试验区域、补充布设云降水探测设备，以期获得试验区域三维水汽、云水、降水场以及催化前后云中变化特征，从而凝练作业模型与作业指标，形成成套催化技术，并通过应用示范推广，提高地形云人工增雨（雪）作业的技术水平和生态保护与修复人影作业的效益。

（2）研究试验

人影工程建设项目往往偏重硬件建设而忽视研究试验等软性建设，对作业条件探测、作业识别、作业装备、催化技术、效果评估以及相关配套技术研究和应用示范不够充分，使得效益的发挥达不到预期的效果。为此，西北人影项目在国家发改委和中国气象局的支持下，率先尝试了在人影工程建设中设立研究试验项目，在工程建设的同时依托建立的人影试验示范基地开展研究试验，并将研究成果转化为工程技术进行示范推广，缩短工程技术成果业务转化的进程，保障工程项目效益的发挥。西北人影项目设立了

祁连山、天山、三江源、六盘山地形云增雨（雪），渭北、巴彦淖尔防雹以及作业天气背景分析等研究项目，目前已取得了阶段性成果：各试验区获取了云降水与催化作业的多个典型个例，建立了数据集；开展了云水资源分布、地形云降水和云微物理特征等方面的研究；嵌入催化模块的地形云数值模式研发基本完成；作业条件识别等研究试验成果纳入了作业指挥系统应用。

（3）技术队伍培养

试验基地建设和研究试验项目采取公开招标的方式，吸引了国内外人影技术力量的参与，中国科学院大气物理研究所、国家气候中心、兰州大学、南京大学、南京信息工程大学、成都信息工程大学的专家参与了试验项目研究，汇聚各方力量协同攻关。项目执行至今，已组织多次外场试验，开展了广泛交流，推动国、省青年骨干科技人员参加外场试验，与外部门专家合作凝练科学问题，总结分析试验数据，合作发表科研成果，极大带动了青年人才成长。

3 结论

西北人影项目在高性能增雨飞机、作业指挥系统、研究试验等关键技术系统和技术措施的设计方面取得了一些新的突破，其建设成效正在逐步显现。

1）飞机集成系统高度集成了探测、作业、通信等各类信息，研发了机上实时指导作业的催化潜力指标，并全部实现了国产化。

2）在新舟60增雨飞机上加装了吸湿性粉剂播撒装置，填补了暖云催化方式的不足。

3）作业指挥系统实现了与气象大数据的融合、格式标准的对接、显示风格的统一、人影算法的通用和开放，形成了云+端的“4C+ABC”架构，对后续人影作业指挥系统设计与建设具有较好的借鉴价值。

4）开创了在人影工程建设中设立研究试验项目的先例，强化了工程技术成果业务转化的应用，促进了地方人影队伍的成长，保障了工程效益的发挥，为后续人影工程建设起到了示范作用。

2020年11月，国务院办公厅印发了《关于推进人工影响天气工作高质量发展的意见》①，要求：要优化投入结构，重点支持人工影响天气能力建设、运行和作业保障等；要建设国家级人工影响天气科学试验基地和重点实验室。分类建设人工影响天气科学试验示范区，持续开展人工增雨（雪）、防雹、消云减雨、消雾、改善空气质量等科学试验，逐步提高科技水平和科技成果转化成效。2021年是“十四五”开局之年，如何推进人工影响天气高质量发展，提升人工影响天气业务能力和科技水平，是当前乃至今后一段时期人影工作者的核心课题。更加科学合理地规划设计人影现代化工程，确保建设效益的充分发挥，需要各级人影工作者共同努力。

参考文献

[1] 胡志晋, 王广河, 王雨增. 人工影响天气工程系统. 中国工程科学, 2000, 2(7): 87-91.
[2] 郑国光, 郭学良. 人工影响天气科学技术现状及发展趋势. 中国工程科学, 2012, 14(9): 20-27.
[3] 郭学良, 方春刚, 卢广献, 等. 2008—2018年我国人工影响天气技术及应用进展. 应用气象学报, 2019, 30(6): 641-650.
[4] 雷恒池, 洪延超, 赵震, 等. 近年来云降水物理和人工影响天气研究进展. 大气科学, 2008, 32(4): 967-974.
[5] 邵洋, 刘伟, 孟旭, 等. 人工影响天气作业装备研发和应用进展. 干旱气象, 2014, 32(4): 649-658.
[6] WMO. Documents on Weather Modification. The meeting of the Expert Team on Weather Modification Research, March 17-19, 2015. Phitsanulok: WMO.
[7] 李照荣, 陈添宇, 陈乾, 等. 2001—2005年西北中东部水汽及其输送特征. 冰川冻土, 2008, 30(4): 668-674.
[8] 陈乾, 陈添宇, 张鸿. 用Aqua/CERES反演的云参量估算西北区降水效率和人工增雨潜力. 干旱气象, 2006, 24(4): 1-8.
[9] 陈跃, 陈乾, 陈添宇, 等. 祁连山地形云试验区自然地理和气候特征. 气象科技进展, 2008, 36(5): 575-580.

① 国务院办公厅. 国务院办公厅关于推进人工影响天气工作高质量发展的意见. 国办发[2020]47号. 2020.