

西北区域人工影响天气试验示范基地设计

方春刚¹ 段婧¹ 李圆圆² 李宝梓³ 岳治国⁴ 田磊⁵ 田建兵⁶ 黄山² 陈添宇¹ 陈宝君¹ 李集明¹

(1 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 中国气象局云雾物理环境重点开放实验室, 北京 100081;

2 新疆维吾尔自治区人工影响天气办公室, 乌鲁木齐 830002; 3 甘肃省人工影响天气办公室, 兰州 730020;

4 陕西省人工影响天气办公室, 西安 710014; 5 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室, 银川 750002; 6 青海省人工影响天气办公室, 西宁 810001)

摘要: 西北人影工程在西北地区选取重点区域建设人工影响天气试验示范基地, 合理设计观测仪器设备布局, 建立了涵盖中尺度水汽、风场监测、云降水宏观场监测、云降水微观场探测的大气、云和降水宏微观三维结构及湿热力、动力综合监测网; 在基地科学设计外场试验区, 开展外场作业试验, 开展新型催化作业装备和催化剂研发。基地的建设能够有效地促进我国人影业务自主创新, 为西北区域和全国人影业务发展提供有力的科技支撑, 提高作业效率和水平, 提高西北区域人工影响天气作业实际效益。目前该基地已基本完成观测系统以及业务平台建设, 观测资料已在研究试验中得到有效应用。

关键词: 观测系统, 地形云, 试验示范基地

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2021.05.011

Construction of Weather Modification Experimental Base in Northwest China

Fang Chungang¹, Duan Jing¹, Li Yuanyuan², Li Baozi³, Yue Zhiguo⁴, Tian Lei⁵,
Tian Jianbin⁶, Huang Shan², Chen Tianyu¹, Chen Baojun¹, Li Jiming¹

(1 State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Key Laboratory for Cloud Physics of China Meteorological Administration, Beijing 100081 2 Xinjiang Weather Modification Office, Urumqi 830002

3 Gansu Weather Modification Office, Lanzhou 730020 4 Shaanxi Weather Modification Office, Xi'an 710014

5 Key Laboratory for Meteorological Disaster Monitoring and Early Warning and Risk Management of Characteristic Agriculture in Arid Regions, Yinchuan, 750002 6 Qinghai Weather Modification Office, Xining 810001)

Abstract: Key areas in Northwest China are selected to build weather modification experiment demonstration bases. The project rationally designs the layout of observation instruments and equipment, and establishes a comprehensive monitoring network of atmosphere, cloud and precipitation with macro and micro three-dimensional structure, including wet, heat and power for mesoscale water vapor and wind field monitoring, cloud and precipitation macro field monitoring and cloud and precipitation micro field detection. The base scientifically designs the outfield test area, carries out outfield operation tests, and carries out research and development of new catalytic operation equipment and catalysts. The construction of the base could effectively promote the capability of independent innovation of China's weather modification business, providing strong scientific and technological support for the development of weather modification business in Northwest China and the whole country. Meanwhile, the base improves the operation efficiency and level, and increases the actual benefits of weather modification in Northwest China. At present, the base has basically completed the construction of observation system and business platform, and the observation data have been effectively applied in research and experiments.

Keywords: observation system, terrain cloud, experimental base

0 引言

西北地区是我国重要的生态保护屏障, 生态环境十分脆弱, 水资源是决定西北干旱地区环境脆弱问题的根源^[1]。天山山区降水是中亚地区“水塔”, 该地

区降水的变化深刻影响中亚地区的生态及人文环境; 祁连山区降水是河西走廊及其下游地区重要的水源, 地形云降水在该地区总降水中所占比例非常高; 青海三江源素有“中华水塔”之称, 对中国的生态状况及国民经济发展起着重要作用, 在西部大开发生态环境的治理保护中担负着重要责任。但是在气候变暖的背景下, 山地冰川资源加剧消融退缩, 冰川数量和规模

收稿日期: 2021年1月17日; 修回日期: 2021年8月23日
第一作者: 方春刚(1981—), Email: fangcg@cma.gov.cn

均呈减少趋势^[2]。为了应对日益增长的水资源需求,气象部门通过人工影响天气等技术寻求开发利用大气中的淡水资源^[3-4],其中地形云增雨(雪)是重要的手段之一。

地形云人工增雨(雪)试验在世界范围内广泛开展,例如美国西部山区的Climax试验、Cascade试验、以色列试验、怀俄明人工影响天气试验等,这些计划和试验的开展有利地推进了人工影响天气的发展,增加了对地形云降水过程的认识^[3,5]。作为增加冬季地形云系统降水量的一种方法,人工增雨(雪)的基本假设是通过将过冷水转化为冰晶,并使新产生的冰粒子能够在目标区域生长为雪粒子,从而提高云的自然降水效率。然而地形云播撒还存在很多不确定性:1)如何确定云中是否存在过冷水,如何确定过冷水的出现时间和位置;2)如何确定自然降水过程是否适合人工播撒;3)确定地面释放或空中释放的AgI能够到达目标区域的云层;4)如何确定播撒后是否有助于降水增加^[6],这些不确定性需要有计划长时间的外场试验来评估和验证。

我国很早就开展了地形云外场观测试验,在20世纪60年代就开始在青藏高原、天山以及雅鲁藏布大峡谷等地展开科学考察,研究山地对大气和大气运动的作用^[7-10]。陈添宇等^[11]利用2007年夏季在祁连山中段冷龙岭南北两侧同时进行的地形云观测试验资料,从风场、湿度场和不稳定能量的分布等方面,分析了西南气流背景下祁连山地形云的演变特征。王颖^[12]使用卫星、网格化地面降水资料、FY系列卫星反演产品分析了祁连山地区云参数的时空特征;并结合增雨潜力综合分析了适合进行人工增雨作业的时间和区域。岳治国等^[13]利用NPP/VIIRS卫星格点对流云微物理自动反演,得到了高原对流云的宏、微观物理特征。但是由于西北地区地形复杂,现有的气象观测站点稀少、代表性差,同时缺乏针对人工影响天气的特种观测设备,靠现有观测设备研究西北地区地形云的形成和演化以及人工影响天气机理非常困难。

针对以上问题,西北人影工程在西北地区选择具有代表性的山地区域设计建设了适合实施人影作业、指挥和效果评估需求的降水云系的宏微观物理特征的观测站点,结合现有的气象观测业务共同构成较为完善的人影业务观测系统,开展该地区综合观测试验和人工影响天气外场试验,对西北地区地形云人工增雨作业起到很好的研究示范作用。本文将从功能设计、结构设计、布局设计、观测系统等方面介绍西北地区人工影响天气试验示范基地设计。

1 总体设计

1.1 总体布局

按照地理区域代表性和服务保障需求类型分类的原则,建设祁连山、天山、三江源地形云试验示范基地,六盘山地形云外场试验点和红碱淖湿地、陕甘宁果业区及内蒙古巴彦淖尔防雹外场试验点。在不同地理区域针对各区域典型的天气类型和云系开展作业试验,为西北地区提供示范和指导,以提高我国西北地区人工影响天气的作业水平和作业效益。

祁连山地形云人工增雨(雪)试验示范基地以甘肃张掖为中心,民乐县为核心区,覆盖甘肃张掖市、嘉峪关市、酒泉市、金昌市和武威市所辖部分区县;天山地形云人工增雨(雪)试验示范基地以新疆乌鲁木齐为中心,覆盖乌鲁木齐县东、西白杨沟、水西沟和小渠子等;三江源地形云人工增雨(雪)试验示范基地覆盖青海省果洛州达日县和班玛县;外场试验点包括宁夏六盘山区水源涵养地、红碱淖湿地、陕甘宁果业区及内蒙古巴彦淖尔(图1);试验示范基地观测系统依托现有基地综合观测系统布局,面向效果检验需求,布设相关观测设备;基地业务平台布局在区域中心,由区域中心统一设计开发,各基地进行本地化部署。

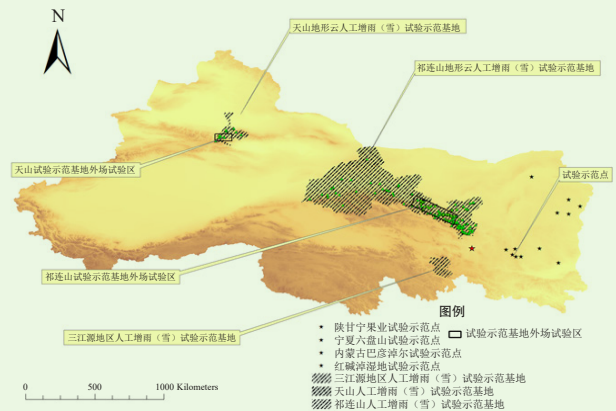


图1 试验示范基地总体布局

Fig. 1 The layout diagram of the experimental base

1.2 功能设计

1.2.1 监测功能

人工影响天气主要针对自然降水过程,将催化剂播撒到云中过冷水区域从而产生新的冰晶,从而影响自然降水过程。西北区域人工影响天气试验示范基地需要在西北区域不同地理特征和人工增雨(雪)业务及人工防雹业务需要,建立中尺度水汽和风场监测、云降水宏观场监测、云降水微观场探测的中尺度一小尺度一微尺度疏密合理、要素齐全、时空匹配的大

气、云和降水宏微观三维结构及湿热力、动力综合监测网。

1.2.2 数据采集处理功能

试验示范基地通过北斗卫星和地面基础通信设施实现对示范基地地面观测系统的数据、装备管理，并通过气象信息网络实现气象局其他常规观测资料的收集、整理，并对采集的观测数据进行质量控制。

1.2.3 人工影响天气检验试验功能

基地具备开展针对各地典型降水云系的人工增雨（雪）、人工防雹理论与应用技术、效果评估技术的人工增雨（雪）、人工防雹条件预报、监测、跟踪作业催化及效果检验试验的功能。试验示范基地具备云物理观测和数据采集处理能力，依托已建的作业指挥系统和作业系统，结合地形云数值模拟，能够对西北地区祁连山、天山、三江源、六盘山、红碱淖湿地、陕甘宁果业区及内蒙古巴彦淖尔等地区典型降水过程进行条件预报、监测，有计划的实施人工影响天气作业，并完成作业前后的云降水系统的宏微观特征观测，具备完善的人工影响天气检验试验功能。

1.2.4 效果检验功能

效果检验是通过合理设计随机催化试验和对比催化试验，对云和降水的宏微观物理量的变化进行定量观测分析从而评价人工影响天气的影响效果，是当前国内外人工影响天气面临的亟待解决的重大科技问题之一。

基地依托试验示范基地对比区和播撒区设计催化试验，通过示范基地建设的观测系统的精细化观测，结合常规气象要素观测信息和云物理探测信息，能够实现人工增雨（雪）和人工防雹作业进行科学有效的效果检验，并对社会、经济效益进行评估。

1.2.5 人工影响天气作业示范功能

基地能够结合数值模拟，建立不同区域典型降水云系的概念模型与增雨（雪）和防雹作业模型，形成不同天气类型和云系特征、不同季节、不同地域开展人工增雨（雪）和防雹作业的成套技术，进行作业示范。为人工增雨（雪）和防雹作业方案的科学设计，作业条件的监测识别，作业决策和作业效果的科学评估，提供科学依据和试验验证。

1.3 结构设计

西北区域人工影响天气试验示范基地系统结构上包括地形云人工增雨（雪）试验示范基地、试验示范基地观测系统和基地业务平台，三者有机结合。其中地形云人工增雨（雪）试验示范基地包括祁连山地形云人工增雨（雪）试验示范基地、天山地形云人

工增雨（雪）试验示范基地、青海三江源地形云人工增雨（雪）试验示范基地和陕甘宁果业、宁夏六盘山区水源涵养地、红碱淖湿地及内蒙古巴彦淖尔等试验示范点。观测系统包括：自动气象站、降水类天气现象观测仪、微波辐射计、全球导航卫星系统气象观测（GNSS/MET）、基于北斗卫星导航系统/GPS的气象探测火箭系统、车载C波段双偏振多普勒天气雷达、车载X波段双偏振多普勒天气雷达及移动式毫米波云雷达等。基地业务平台包括数据管理子系统和装备管理子系统。地形云人工增雨（雪）试验示范基地是外场试验场所，属于地形云人工增雨（雪）试验示范基地建设观测系统，依托现有的通信和基础设施作为基础支撑，将试验观测数据传输给基地业务平台，同时业务平台还能实现数据和装备的远程管理；在外场试验过程中，试验示范基地与作业指挥系统和地面作业系统相互依托，作业指挥系统依托试验示范基地的观测数据进行作业条件识别和作业方式选择，试验示范基地依托作业系统和指挥系统完成人工影响天气作业，如图2所示。

1.4 信息流程

1.4.1 自动气象站

试验区内布设的自动气象站通过地面气象宽带网或无线通信方式，将数据直接传输至各省气象信息中心国家综合气象信息共享平台（China Integrated Meteorological Information Service System, CIMISS）存储，供人影和其他气象业务共同使用。

1.4.2 降水类天气现象观测仪

试验区内布设的降水类天气现象观测仪，布设在国家级气象站的，依托当地气象通信网络实现数据传输；布设在气象站以外的降水类天气现象观测仪，传输方式采取通用分组无线业务（General Packet Radio Service, GPRS）通信方式或依托当地公网，将数据直接传输至各省气象信息中心CIMISS存储和使用。

1.4.3 微波辐射计

微波辐射计主要布设在试验区内有人值守的自动站内，因此利用站址内现有的气象网络系统进行数据的传输，通过地面气象宽带网将观测数据传输至各省气象信息中心CIMISS存储和使用。

1.4.4 基于北斗卫星导航系统/GPS的气象探测火箭系统

基于北斗卫星导航系统/全球定位系统GPS（Global Position System）的气象探测火箭系统获得的现场综合气象探测资料及探测设备状态等相关信息经GPRS无线通信或地面通信网络系统传至各省气象信息中心CIMISS存储和使用，并纳入资料数据库。同时

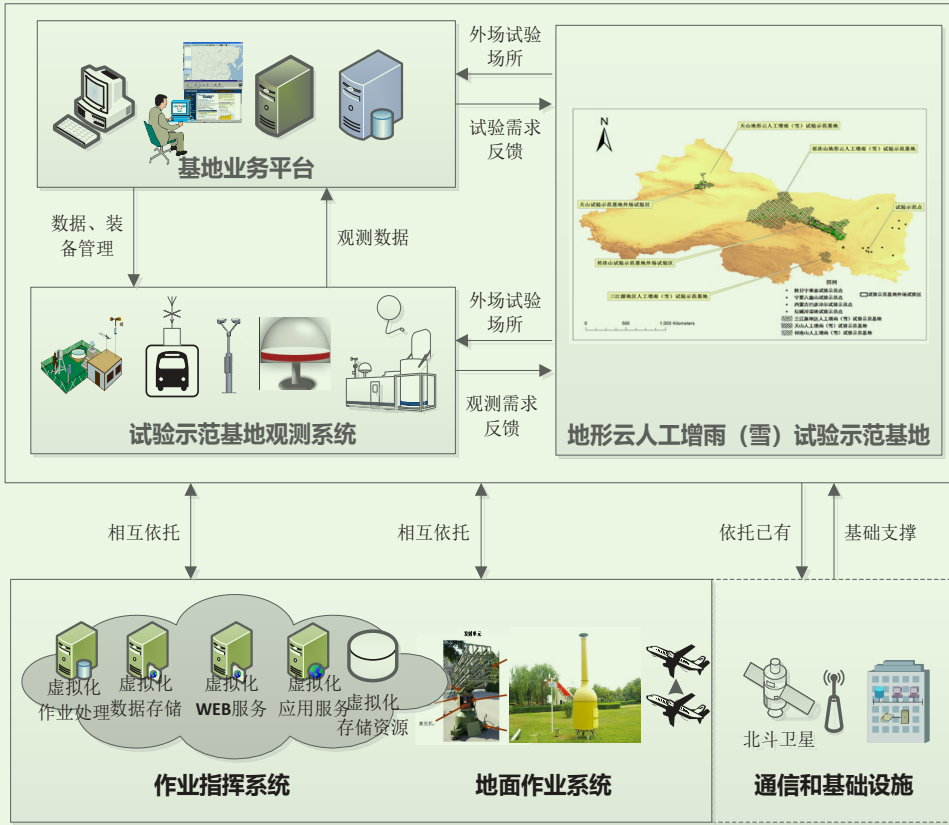


图2 试验示范基地结构图
Fig. 2 The structure diagram of the experimental base

基于北斗卫星导航系统/GPS的气象探测火箭系统中的所有数据(包括气象数据和探测站所在位置等的地理信息数据)均可通过远程无线通信系统传输到主站,这些数据能够提供气象灾害预报预测系统使用。

1.4.5 车载 X、C 波段双偏振多普勒雷达系统

车载 X、C 波段双偏振多普勒雷达系统数据和产品可利用配备的卫星通信设备通过网络系统实时向各省气象信息中心传输。

1.4.6 移动式毫米波云雷达

移动式毫米波云雷达利用配备的卫星通信设备通过网络系统实时向各省气象信息中心传输观测资料。

1.4.7 全球导航卫星系统气象观测 (GNSS/MET) 站

全球导航卫星系统气象观测 (GNSS/MET) 站获得的数据,通常布设在自动气象站内,可以通过地面气象宽带网,将水汽观测原始数据和水汽产品上传至各省气象信息中心 CIMISS 存储和使用。

1.4.8 基地业务平台

基地业务平台主要依托西北区域人影中心的通信传输网络实现数据的信息传递。

1.5 关联与接口设计

试验示范基地建设中涉及自动气象站、降水类

天气现象观测仪、移动 X、C 波段雷达、微波辐射计、基地业务平台等部分内容,主要的接口类型包括:硬件接口、软件接口、通信接口、数据接口、系统接口等,依不同分系统的不同组成提供或支持不同接口类型,如图 3 所示。

1.6 外场试验设计

依托试验示范基地业务系统,统筹布局观测设备和地面作业装备,针对祁连山、天山、青海三江源以及试验示范点不同云系典型天气系统,有计划地开展空地一体的外场作业试验,总结试验经验,形成可指导试验示范基地运行的业务规范,并提供可支撑人影业务运行的试验成果,将通用的试验成

果推广应用到其他区域。

具体试验方案设计如下:

1.6.1 天气分析

影响祁连山和天山试验示范基地的主要天气系统有高原低槽型、西风槽型、副热带高压型、西西伯利亚低槽、乌拉尔山大槽、北方横槽、中亚低值等。依据未来 24~72 h 预报,将有天气过程影响试验示范基地时,通过试验示范基地观测数据和数值预报结果,判断该天气过程天气系统类型和对试验示范基地的可能影响范围、时间及降水情况,确定是否开展地形增雨作业试验以及试验的作业区和对对比区。

1.6.2 作业试验开展

作业试验根据试验示范区观测系统的数据和地形云模式的结果,利用地形云增雨作业指标确定作业试验云系的增雨潜力区分布及演变情况,确定开展作业试验的区域、时段、部位和作业方式等,制定飞机和地面增雨作业试验方案。并实时跟踪作业情况,依据天气实况对作业方案进行实时调整。

1.6.3 效果检验

1) 物理检验

根据云和降水形成原理和人工影响的机制,利用

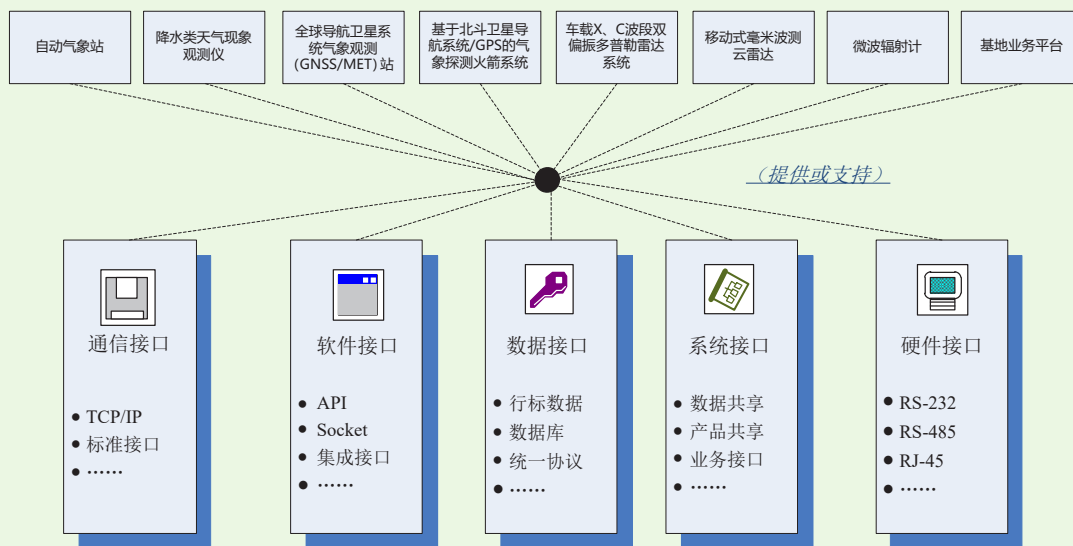


图3 试验示范基地关联与接口设计图
Fig. 3 The design diagram of association and interface of the experimental base

直接探测、遥感探测和示踪技术等各种探测技术，测量催化导致的宏观动力效应和微观物理效应等播云的直接效果。在试验示范区主要利用以下观测资料开展效果的物理检验。

① 机载观测系统资料：机载观测系统可以随作业飞机直接入云中探测云的微物理参量，通过分析云滴谱、雨滴谱、云水含量、冰晶数浓度等微物理参量的变化，得到人工增雨作业的直接效果。

② 激光云雷达资料：激光云雷达资料能获取作业目标的云粒子大小、滴谱分布、冰与液态水含量等微观参数，分析其变化，人工增雨作业的直接效果。

③ 多普勒雷达资料：多普勒雷达能够对作业云进行立体观测，通过分析作业目标的回波顶高、回波体积、最大反射率、垂直累积液态水含量、降水通量等物理量的变化，得到人工增雨作业的效果。

2) 统计检验

统计检验的主要评估对象是地面降水量，比较未进行作业的自然降水量和作业后的降水量的差值并分析差值的显著性，得到增雨作业的效果。试验示范基地现有和新建的自动气象站能够提供比较精细的地面降水信息，满足统计检验效果评估的需求。试验示范区采用区域历史回归分析对作业试验的效果进行评估。

区域历史回归分析是建立在作业期作业影响区与对比区降水量的统计相关关系与历史上二区降水量的区域相关性相同的假定基础上，借助于一个或一个以上的对比区，根据历史样本建立作业影响区与对比区自然降水量的回归方程，然后将作业期对比区的实测

降水量代入方程求得作业期作业影响区自然降水量的估计值，并与实测值进行比较以确定增雨效果。该方法的困难在于作业影响区与对比区的关系缺乏稳定性，导致评估结果稳定性较差。然而，如果对比区选择得当，可用样本资料足够多，这种方法仍具有较高的评估功效。

绝对增雨：将作业期对比区实测降水量代入回归方程求出作业期作业影响区自然降水量的估计值，再与其实测降水量进行比较确定增雨效果。

绝对增雨量可以表示为：

$$O_{HR} = Y_2 - Y_2' \quad (1)$$

相对增雨率可以表示为：

$$R_{HR} = \left(\frac{Y_2}{Y_2'} - 1 \right) \times 100\% \quad (2)$$

由于目前试验区域的观测站点较少，在统计检验过程中会出现显著性水平不高的情况，一方面我们将观测站点历史资料中小时降水观测作为单独样本来充实样本库提高显著性水平，另一方面通过在试验示范基地建设的更加密集的雨滴谱仪和自动气象站不断积累观测降水个例完善样本库。同时，将雷达反射率、卫星观测参量等遥感观测数据作为评估对象也是统计检验的新的方向。

1.6.4 预期成果

针对试验示范基地典型的天气过程，通过项目建设运营期内多年的地形云增雨作业试验，提炼总结成熟的地形云增雨作业试验技术方法，用于支撑人影业务并能推广示范，预期成果可包括：

1) 建立地形云增雨作业指标体系，包括云的

微物理量指标（云粒子浓度、含水量、粒子谱等特征）、雷达资料指标（强度、面积、VIL、回波高度等）、云宏观信息（云状、云高、云顶温度等）、常规天气指标（ $T-T_d$ 、 $e-E_i$ 、 0°C 层高度等）、水汽含量、液态水含量、地面降水及雨滴谱等资料的指标。

2) 对地形云增雨作业试验期间的增雨效果进行分析，给出增雨效果评估报告；对典型天气过程的地形云增雨试验进行效果分析，给出典型天气过程的地形增雨作业试验的增雨率。

3) 对典型天气过程增雨作业试验进行个例分析，形成总结报告。

4) 通过多年的地形云增雨作业试验，总结经验形成地形云增雨作业试验规范。

2 观测系统

2.1 功能设计

面向人工增雨作业试验和效果检验需求，针对统计检验、物理检验、数值模式检验所需观测数据高时空密度及高精度要求，在试验示范基地建设降水类天气现象观测仪、6要素自动气象站（含固态降水观测）、基于北斗卫星导航系统/GPS的气象探测火箭系统、移动式毫米波云雷达、微波辐射计、全球导航卫星系统气象观测（GNSS/MET）站及车载C和X波段双偏振多普勒天气雷达等人影专项探测设备，所选探测设备基本为技术成熟产品。具体功能如下：

2.1.1 能够满足人工增雨作业试验所需观测资料

在试验示范基地外场试验区，依托已有观测系统，补充布设车载C波段双偏振多普勒天气雷达、降水类天气现象观测仪和微波辐射计等探测设备。在作业试验前，可以获取作业区及周边天气状况、云系宏观特征及云中液态水含量等观测信息，为选择作业时机、确定作业位置和作业强度等提供科学指导。

2.1.2 能够获取统计检验所需的地面降水资料

在试验示范基地和外场试验区，依托现有区域自动气象站，加密布设自动气象观测站和降水类天气现象观测仪，形成密度较高的地面降水观测网，通过长期连续开展外场观测试验，积累长时间序列高密度的地面降水量信息，以满足开展人工增雨效果统计检验的需要。

2.1.3 能够获取物理检验所需云的宏观物理量资料

在试验基地和外场试验区内建设双偏振多普勒天气雷达和机载云粒子观测系统，能够获取时空分辨率较高的云的宏观和微观物理量信息。利用雷达观测的作业前后云宏观变化（云的体积、云顶高度、云的形状、云的运动速度等）、微观变化（云中粒子相态、

云的反射率因子、云中液态水含量等）和机载云粒子观测系统观测的作业前后云微观变化（云中粒子大小、粒子浓度、粒子相态、粒子谱等）等可为人影作业效果提供物理证据。并且C波段和X波段双偏振多普勒天气雷达能够实时跟踪作业云系统，并随时进行垂直剖面扫描，满足人影作业需求。

2.1.4 能够满足数值模式检验所需高时空分辨率的水汽场、风场资料

根据人工增雨（雪）外场试验设计，在试验示范基地和外场试验区，依托现有探空站、全球导航卫星系统气象观测（GNSS/MET）站等高空观测设备，增加建设基于北斗卫星导航系统/GPS的气象探测火箭系统、微波辐射计和全球导航卫星系统气象观测（GNSS/MET）站，可实时获取试验示范基地高时空分辨率水汽场和云水场信息及空间分辨率更高的高空风场资料，能够为数值模式检验提供必要的气象背景场资料。

2.2 结构设计

试验示范基地观测系统包括宏观背景场观测和云降水物理场观测两部分组成。主要建设：宏观背景场观测设备主要包括全球导航卫星系统气象观测（GNSS/MET）站、微波辐射计、基于北斗卫星导航系统/GPS的气象探测火箭系统，可以实现对水汽场、动力场和宏观云场的观测。云降水物理场观测设备开展云降水宏微观物理特征探测，主要观测设备包括C波段双偏振多普勒雷达、云雷达、X波段双偏振多普勒雷达（移动）、降水类天气现象仪、雨滴谱仪、自动气象站等，开展云降水物理场观测能够实现云宏观结构特征、水凝物粒子谱、云滴谱和降水粒子谱的探测，构建探测空间范围覆盖主要降水云系移动路径带，时间范围覆盖云初生、发展、成熟、消亡整个生命周期的大气要素空间观测网，实现对云发展演变过程中风场、水汽场等环境场要素和云中水凝物的全程观测。由降水类天气现象观测仪、6要素自动气象站（含固态降水观测）、基于北斗卫星导航系统/GPS的气象探测火箭系统等观测设备构成（图4）。

2.3 布局设计

天山和祁连山地形云人工增雨（雪）试验示范基地现有自动气象站93套，新一代天气雷达2部，充分依托现有观测系统和地面作业装备布局，按照人工增雨（雪）作业效果检验对观测资料的需求，优化地面观测站网布局，配合飞机探测作业，开展地形云人工增雨（雪）试验。在六盘山、陕甘宁果业、宁夏六盘山区水源涵养地、红碱淖湿地及内蒙古巴彦淖尔等试

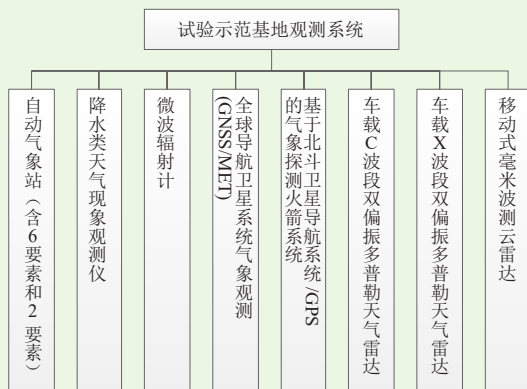


图4 试验示范基地观测系统组成结构示意图
Fig. 4 The structure diagram of the observation system of the experimental base

验示范点增加建设GNSSMET站和6要素自动气象站。天山和祁连山地形云人工增雨（雪）试验示范基地现有和新建观测设备布局见图5。

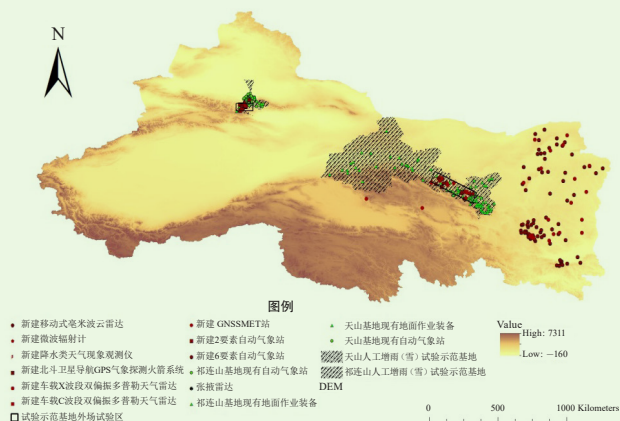


图5 试验示范基地观测系统布局
Fig. 5 The layout diagram of the observation system of the experimental base

3 基地业务平台

3.1 功能

围绕人影试验示范基地业务，立足祁连山、天山和三江源地形云人工增雨（雪）试验示范基地及试验示范点，面向西北地区，根据人影试验示范需求，构建基地业务平台，为人影科研人员及相关业务人员提供统一、集成、面向试验示范全过程的业务平台，充分发挥各类已建、在建和将建观测设备的效益，服务于试验示范业务开展。基地业务平台主要由数据管理子系统和装备管理子系统组成。其中，数据管理子系统负责为整个基地业务平台提供统一的数据环境，装备管理子系统负责试验区的装备信息登记入库、查询和更新维护，以及实时监控基地各种装备的运行

情况。

3.2 结构

基地业务平台建设所需硬件共用市级指挥中心硬件平台，软件依托西北区域指挥系统软件，仅增加外场试验所需的功能模块。

3.2.1 数据管理子系统

包括数据采集处理模块、数据存储与管理模块，它为整个决策服务平台提供统一的数据环境。

1) 数据采集与处理模块

主要是根据人影业务和试验的需求，通过各种网络连接方式，自动从网络系统和设备中采集各种数据资料，并进行数据质量控制和数据初步处理。观测数据的采集与CIMISS的通信系统对接，数据初步处理和质量控制纳入到CIMISS统一的处理流程。

2) 数据存储与管理系模块

依托CIMISS平台对采集的数据进行存储和管理。建立资料的索引目录和资料采集日志，能方便的对数据进行查询、对比、分析；提供对数据的维护与管理功能，可对数据进行修改、删除等操作；数据备份功能，根据试验内容和作业目的的不同定制备份方案，在一个试验和作业过程结束后，系统将相关资料进行打包备份，以便供后期工作人员进行数据回放和个案研究。

3.2.2 装备管理子系统

包括装备信息模块和实时监控模块。其中，装备信息模块，主要是对试验区的各种装备进行登记入库，记录使用、维护信息，进行综合查询；实时监控各种的装备的运行情况。

1) 装备信息模块

设备技术档案管理：将设备出入库信息、安装地点、场址环境、设备信息和相关技术文档等信息资料进行管理，方便查询设备相关信息。

设备日常维护管理：对设备的小修和大修、技术改造、标定及年检等信息进行详细记录。

设备故障管理：主要记录设备故障发生的日期、持续时间、故障维修方式及故障类型等情况。

设备使用管理：管理设备使用信息，包括申请使用人、用于的科研项目、负责人及使用计划等信息。

2) 实时监控模块

实时监控设备运行状况，并对异常状况进行报警。设备运行状态管理，并将设备运行日动态及设备使用者反馈信息等资料输入数据库中。

(下转76页)

集成应用，其实施具有较好的试验示范作用，并将有效提高工程建设效益。

目前的西北人影工程研究试验与国家生态建设要求紧密结合，侧重解决包括西北地区云水分布和收支、作业概念模型及效果评估等重要问题。预期通过项目科学设计、执行机制的创新，结合科研项目任务下达的方式，将科学家、地方建设单位和国家建设单位三者更好地融合起来。公开招标的方式将吸引各方优秀团队和先进技术力量共同参与，形成成果共享、共同进步、互利共赢的良好局面；通过科研项目任务下达加深地方建设单位的深度参与，有利于地方人才的培养和技术储备升级。另外，执行过程中编制完成的适宜于工程项目研究试验类的招标文件、合同及相关任务书是经过了多方论证和讨论形成的范本，可为今后同类项目的执行提供依据。

另外，既是新事物，便需更多探索和实践。根据研究试验部分在工程项目执行过程中出现的问题，总结经验，有以下几个方面需进行重点考虑：

1) 多方咨询，政策支持。作为第一个在工程建设中设置的研究项目，如何做好是一个挑战。通过集中全国人工影响天气、云降水物理及多学科专家共同多方讨论，保障了形成的技术实施方案具备的先进性；通过向体制内、外的职能部门专家咨询，保障了项目执行过程中的合理、可行性。这是研究试验顺利执行的技术和政策保障。

2) 加强沟通，适当引导重应用。区别于以往的科研项目，本项目在执行过程中，为使研究成果能更好的得到业务应用，研究试验将在这方面起到更多的引导作用。将更多开展与指挥系统等多方讨论、沟通总结和交流，以

求研究成果能尽快适应指挥系统，在指挥作业中得以应用。这也是研究试验的一个重要任务。

3) 重视管理，加强交流与适时检查并重。研究试验的任务分解后包含八个任务内容。任务分解方式对项目管理方提出了较高的要求，如何将各部分内容在各自的研究范围内突出重点，并可如期按要求完成任务，定期组织各项目检查及项目间的交流便十分重要，以此可及时发现各自执行中的问题并尽快解决，各项目间也可互通有无、相互借鉴。

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] 李大山. 人工影响天气现状与展望. 北京: 气象出版社, 2002.
- [4] 顾钧禧. 大气科学辞典. 北京: 气象出版社, 1994.
- [5] 张强, 孙昭莹, 陈丽华, 等. 祁连山空中云水资源开发利用研究综述. 干旱区地理, 2009, 32(3): 381-389.
- [6] 郑国光, 陈跃, 陈添宇, 等. 祁连山夏季地形云综合探测试验. 地球科学进展, 2011, 26(10): 1057-1070.
- [7] 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.
- [8] 陈添宇, 郑国光, 陈跃, 等. 祁连山夏季西南气流背景下地形云形成和演化的观测研究. 高原气象, 2010, 29(1): 154-165.
- [9] 李霞, 张广兴. 天山可降水量和降水转化率的研究. 中国沙漠, 2003, 23(5): 509-513.
- [10] 郭玉娣, 徐祥德, 陈渭民, 等. “鱼尾”状地形热力效应对天山降水系统及水资源的影响. 高原气象, 2014, 33(5): 1363-1363.
- [11] 张沛, 姚展予, 贾烁, 等. 六盘山地区空中水资源特征及水凝物降水效率研究. 大气科学, 2020, 44(2): 200-213.
- [12] 王黎俊. 三江源地区秋季多层层状云系微物理特性和催化响应的观测研究. 南京信息工程大学, 2013.
- [13] 孙晶, 楼小凤, 胡志晋. 祁连山冬季降雪个例模拟分析(1): 降雪过程和地形影响. 高原气象, 2009, 28(3): 485-495.
- [14] 连钰. 北天山复杂地形作用下的局地强降水过程数值模拟研究. 南京信息工程大学, 2014.
- [15] 于晓晶, 赵勇. 地形对天山夏季降水影响的模拟. 中国沙漠, 2016, 36(4): 1133-1143.

(上接71页)

3.3 部署

基地业务平台由西北区域人影中心牵头组织开发，部署于祁连山地形云人工增雨（雪）试验示范基地、天山地形云人工增雨（雪）试验示范基地和青海三江源地形云人工增雨（雪）试验示范基地，并根据各基地具体开展的外场试验性质和作业示范目的进行本地化安装。

参考文献

- [1] 赵玉田. 脆弱生态系统下西北干旱区农业水资源利用策略研究. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [2] 张九天, 何宵嘉, 上官冬辉, 等. 冰川加剧消融对我国西北干旱区的影响及其适应对策. 冰川冻土, 2012, 34(4): 848-854.
- [3] 郑国光. 21世纪人工影响天气科学技术展望. 国际地震动态, 1997, (7): 14-19.
- [4] Kenny J F, Barber N L, Hutson S S, et al. Estimated use of water in the United States in 2005. US Geological Survey Circular 1344,

- 2009.
- [5] 段婧, 楼小凤, 卢广献, 等. 国际人工影响天气技术新进展. 气象, 2017, 43(12): 1562-1571.
- [6] Robert M R, Art G, Ulin X, et al. Wintertime orographic cloud seeding—a review. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2019, 58: 2117-2140.
- [7] 高登义, 邹捍, 周立波, 等. 中国山地环境气象研究进展. 大气科学, 2003, 27(4): 567-590.
- [8] 孙方林, 马耀明. 珠穆朗玛峰北坡地区河谷局地环流特征观测分析. 高原气象, 2007, 26(6): 1187-1190.
- [9] 邹捍, 周立波, 马舒坡, 等. 珠穆朗玛峰北坡局地环流日变化的观测研究. 高原气象, 2007, 26(6): 1124-1140.
- [10] 吕雅琼, 马耀明, 李茂善, 等. 青藏高原纳木错湖区大气边界层结构分析. 高原气象, 2008, 27(6): 1206-1210.
- [11] 陈添宇, 郑国光, 陈跃, 等. 祁连山夏季西南气流背景下地形云形成和演化的观测研究. 高原气象, 2010, 29(1): 152-163.
- [12] 王颖. 祁连山地区云参数的时空特征及其与降水关系的分析. 兰州: 兰州大学, 2019.
- [13] 岳治国, 余兴, 刘贵华, 等. NPP/VIIIRS卫星反演青藏高原夏季对流云微物理特征. 气象学报, 2018, 76(6): 968-982.