

基于新一代天气雷达的人工增雨作业技术支持与实证分析

戴玉芝

呼和浩特市气象局

DOI:10.12238/as.v8i9.3250

[摘要] 本文主要围绕新一代天气雷达在人工增雨作业中的应用展开研究。通过阐述新一代天气雷达的工作原理与技术特点,以及人工增雨作业的基本理论,深入分析了新一代天气雷达在天气监测与降水云系识别、作业时机选择和作业效果评估等方面的应用。同时,以内蒙古呼和浩特市地区为例,结合当地天气特征与雷达图,探讨了新一代天气雷达在实际人工增雨作业中的应用效果与存在的问题。研究表明,新一代天气雷达为人工增雨作业提供了重要的技术支持,能够有效提高作业的科学性和准确性。其研究对于合理开发利用空中水资源、缓解干旱等灾害具有重要的现实意义。

[关键词] 新一代天气雷达; 人工增雨作业; 天气监测; 作业效果评估

中图分类号: TN95 文献标识码: A

Technical support and empirical analysis of artificial precipitation enhancement based on new generation weather radar

Yuzhi Dai

Hohhot Meteorological Bureau

[Abstract] This article mainly focuses on the application of the new generation weather radar in artificial precipitation operations. By elaborating on the working principle and technical characteristics of the new generation weather radar, as well as the basic theory of artificial precipitation enhancement operations, this paper deeply analyzes the application of the new generation weather radar in weather monitoring and precipitation cloud system recognition, operation timing selection, and operation effect evaluation. At the same time, taking Hohhot, Inner Mongolia as an example, combined with local weather characteristics and radar maps, the application effect and existing problems of the new generation weather radar in actual artificial precipitation operations were discussed. Research has shown that the new generation of weather radar provides important technical support for artificial rain enhancement operations, which can effectively improve the scientificity and accuracy of the operations. Its research has important practical significance for the rational development and utilization of air water resources, as well as for mitigating disasters such as drought.

[Key words] New generation weather radar; Artificial rain enhancement operation; Weather monitoring; Assessment of homework effectiveness

随着全球气候变化,干旱等气象灾害频发,人工增雨作业作为一种有效的缓解手段,受到越来越多的关注。新一代天气雷达作为气象监测的重要工具,具有高时空分辨率、多参数探测等优点,能够实时获取大气中降水云系的信息。将新一代天气雷达应用于人工增雨作业中,有助于准确识别降水云系、把握作业时机以及评估作业效果,从而提高人工增雨作业的效率和效益。本文旨在系统研究新一代天气雷达在人工增雨作业中的应用,为实际作业提供理论支持和技术指导。

1 新一代天气雷达概述

1.1 新一代天气雷达的工作原理

新一代天气雷达主要基于多普勒效应和电磁波散射原理工。雷达向大气中发射特定频率的电磁波,当电磁波遇到大气中的云雨粒子等目标物时,部分电磁波会被散射回来,被雷达接收天线捕获^[1]。通过分析回波信号的强度、频率、相位等参数,可以获取目标物的相关信息。从回波强度来看,它反映了目标物对电磁波的散射能力,与云雨粒子的大小、浓度等因素有关。较强的回波通常表示云雨粒子较大、浓度较高,可能对应着较强的降水。而多普勒频率的变化则反映了目标物相对于雷达的径向速度。通过测量多普勒频移,雷达可以计算出云雨粒子的运动速度和方向,进而推断大气的风场结构。

1.2 新一代天气雷达的技术特点

新一代天气雷达具有诸多先进的技术特点。首先,它具有高时空分辨率。能够在较短的时间间隔内对较大范围的区域进行扫描,获取高分辨率的气象信息。例如,在距离分辨率方面,可以达到几百米甚至更小,在时间分辨率上,能够实现几分钟一次的快速扫描,这使得雷达能够及时捕捉到大气中云雨系统的快速变化。多参数探测是其重要特点之一。除了传统的反射率因子外,还可以测量径向速度、谱宽、极化参数等多个气象参数。不同的参数反映了大气中不同的物理特征,通过综合分析这些参数,可以更全面、准确地了解降水云系的结构和演变过程。新一代天气雷达具备较强的抗干扰能力。采用了先进的信号处理技术和抗干扰算法,能够有效抑制地物杂波、电磁干扰等噪声的影响,提高雷达回波信号的质量和可靠性。这使得雷达在复杂的气象环境和电磁环境下仍能稳定工作,准确获取气象信息。

2 人工增雨作业相关理论

2.1 人工增雨的基本原理

人工增雨主要基于云的微物理过程。云是由大量的微小水滴或冰晶组成的,当云中的水汽达到饱和状态时,水汽会在凝核上凝结或凝华形成云滴或冰晶。然而,在自然条件下,云中的云滴或冰晶往往较小,难以形成足够大的降水粒子降落到地面^[2]。

人工增雨的基本原理就是通过向云中播撒合适的催化剂,改变云中的微物理过程,促进云滴的增长和合并,使其形成足够大的降水粒子。常见的催化剂有碘化银、干冰等。碘化银具有与冰晶相似的晶体结构,能够作为人工冰核,在云中低温环境下促使水汽凝华形成冰晶。干冰则是通过升华吸热,使周围空气温度急剧降低,导致水汽迅速凝结和凝华,增加云中冰晶的数量。

当云中存在过冷水滴时,人工冰核的引入会使过冷水滴迅速冻结成冰晶。冰晶在增长过程中会不断吸收周围的水汽,同时与其他云滴或冰晶碰撞合并,逐渐增大形成降水粒子。当降水粒子的重量足够大,克服了空气的浮力和上升气流的托举作用时,就会降落到地面形成降水。

2.2 人工增雨作业的条件与方法

人工增雨作业需要满足一定的条件。首先,要有合适的降水云系。一般来说,层状云、积状云和混合云等都有可能成为人工增雨的作业对象。层状云通常具有较稳定的结构和较大的水平范围,云中水汽含量较为丰富,但上升气流较弱;积状云则具有强烈的上升气流,云内对流活动旺盛,有利于云滴的快速增长;混合云则兼具层状云和积状云的特点。云中要有足够的过冷水含量。过冷水是指温度低于0℃但仍未冻结的水滴,它是人工增雨的重要物质基础。只有当云中存在一定量的过冷水时,播撒的催化剂才能发挥作用,促使过冷水冻结成冰晶,进而促进降水的形成。

人工增雨作业的方法主要有地面作业和空中作业两种。地面作业是通过在地面设置火箭发射架或高炮等设备,将装有催化剂的火箭弹或炮弹发射到云中。这种方法操作相对简单,成本

较低,适用于较厚的云层和地形较为复杂的地区。空中作业则是利用飞机将催化剂播撒到云中。飞机作业具有灵活性高、可以直接进入云内进行播撒的优点,能够更准确地控制播撒位置和剂量,适用于各种类型的云层,但成本相对较高,且受天气条件的限制较大。

3 新一代天气雷达在人工增雨作业中的应用

3.1 天气监测与降水云系识别

新一代天气雷达在天气监测和降水云系识别方面发挥着重要作用。通过实时监测雷达回波的强度、分布和演变,可以及时发现降水云系的生成、发展和移动情况。

在降水云系的识别方面,不同类型的云具有不同的雷达回波特征。层状云的雷达回波通常表现为较为均匀的片状分布,回波强度相对较弱且变化较为缓慢。其回波顶高一般较低,水平范围较大,反映了层状云较为稳定的结构特点。积状云的回波则呈现出块状或柱状,回波强度较强,中心部位的回波强度可达到较高值。积状云的回波顶高较高,垂直发展旺盛,常常伴有强烈的对流活动。混合云的回波特征则兼具层状云和积状云的特点,既有片状的回波区域,又有块状的强回波中心。

新一代天气雷达的多参数探测功能为降水云系的识别提供了更准确的依据。例如,通过分析径向速度场可以判断云内的气流运动情况。在积状云中,通常可以观测到强烈的上升气流和下沉气流,表现为径向速度的正负大值区。而在层状云中,气流运动相对较为平稳,径向速度的变化较小。极化参数也有助于区分不同相态的云雨粒子。例如,差分反射率可以反映云雨粒子的形状差异,对于识别冰晶和水滴具有重要意义^[3]。

3.2 雷达资料在作业时机选择中的应用

准确选择人工增雨作业时机是提高作业效果的关键。新一代天气雷达的资料在作业时机选择中具有重要的指导作用。通过监测雷达回波的强度和发展趋势,可以判断云的发展阶段。当雷达回波强度逐渐增强,云体不断发展壮大时,说明云处于发展旺盛期,此时云中的水汽含量丰富,上升气流较强,是进行人工增雨作业的有利时机。相反,如果回波强度减弱,云体开始消散,则表明云已经进入衰减阶段,此时作业效果可能不佳。分析雷达的径向速度场可以了解云内的气流运动情况。在云的上升气流区进行作业,能够使播撒的催化剂随着上升气流迅速扩散到云中的各个部位,增加催化剂与过冷水滴的接触机会,提高增雨效果。同时,通过监测上升气流的强度和高度,可以确定合适的作业高度。一般选择在上升气流较强且过冷水含量较高的区域进行播撒。另外,雷达的极化参数也可以为作业时机选择提供参考。例如,当差分反射率和差分相移等参数出现特定的变化时,可能预示着云中微物理过程的变化,提示可以适时进行作业。

3.3 雷达资料在作业效果评估中的应用

新一代天气雷达资料在人工增雨作业效果评估中具有重要的应用价值。通过对比作业前后雷达回波的变化,可以初步评估作业效果。在回波强度方面,如果作业后雷达回波强度明显增强,且强回波区域扩大,说明作业可能促进了云滴的增长和合并,增

加了降水粒子的数量和大小,从而提高了降水强度。如果回波强度没有明显变化或减弱,则可能表明作业效果不佳。分析雷达的径向速度场变化也可以了解作业对云内气流运动的影响^[4]。如果作业后上升气流增强或分布更加合理,有利于降水粒子的形成和下落,说明作业对云内动力过程产生了积极的影响。极化参数的变化也能反映作业对云中微物理过程的影响。例如,作业后差分反射率和差分相移等参数的变化可能表明云中云雨粒子的形状和相态发生了改变,这可能与催化剂的作用有关。

4 内蒙古呼和浩特市地区实例分析

4.1 呼和浩特市天气特征与人工增雨需求

内蒙古呼和浩特市地处内陆干旱半干旱地区,气候干燥,降水稀少,蒸发量大。年平均降水量约为400毫米左右,且降水分布不均,主要集中在夏季的7~8月份。春季和秋季降水相对较少,容易发生干旱灾害,对农业生产、生态环境和城市供水等造成严重影响。

由于降水不足,呼和浩特市对人工增雨作业有着迫切的需求。人工增雨作业可以在一定程度上增加降水量,缓解干旱状况,改善土壤墒情,促进农作物生长,同时也有助于补充水资源,改善生态环境。此外,在森林防火、空气质量改善等方面,人工增雨作业也能发挥重要作用。

4.2 结合当地雷达图分析新一代天气雷达在作业中的实际应用

以2020年春季呼和浩特市一次典型抗旱增雨作业为例。该年春季至初夏,呼和浩特地区降水持续偏少,尤其是南部的清水河县、和林格尔县旱情严重,农田干土层厚度达20厘米,多数地区无法正常开展旱作农业播种。4月至6月,市气象局多次利用新一代天气雷达实时监测云系发展,精准识别作业时机。

在本次作业过程中,雷达监测显示一股冷锋云系自西北向东南移动,云系前部回波强度较弱、呈片状分布,符合层状云特征。通过分析径向速度场,识别出云体中上部存在较弱上升气流及较高过冷水含量区域。依据雷达研判结论,市气象局联合自治区人工影响天气中心,调度增雨飞机与武川县、土左旗等地火箭发射装置,针对过冷水区域实施空地协同催化作业。作业后雷达回波明显增强、强回波范围扩大,径向速度显示上升气流加强,表明催化起效。结合地面雨量站数据,作业区域降水显著增加,旱情得到有效缓解,保障了农业生产,体现出雷达在增雨作业全流程中的关键支撑作用。

4.3 应用效果总结与问题探讨

通过对呼和浩特市地区新一代天气雷达在人工增雨作业中的应用效果进行总结,可以发现,新一代天气雷达在降水云系识别、作业时机选择和作业效果评估等方面发挥了重要作用,有效提高了人工增雨作业的科学性和准确性,增加了降水量,缓解了当地的干旱状况。然而,在实际应用过程中也存在一些问题。例如,雷达资料的准确性和可靠性受到多种因素的影响,如雷达的探测误差、地物杂波的干扰等,可能会对降水云系的识别和分析产生一定的偏差。此外,对于一些复杂的云系结构和微物理过程,雷达资料的解释和应用还存在一定的困难,需要进一步结合数值模拟和其他观测手段进行深入研究。

同时,人工增雨作业的效果评估还存在一定的不确定性,受到天气条件、云的自然演变等多种因素的影响。如何更准确地评估作业效果,区分人工增雨和自然降水的贡献,仍然是需要解决的问题。

5 结束语

新一代天气雷达凭借其高时空分辨率与多参数探测能力,在人工增雨作业全流程中发挥了关键作用,显著提升了云系识别、作业时机判断和效果评估的科学性与精准度。以呼和浩特地区为例,雷达技术为干旱应对提供了可靠的技术支撑,有效提高了作业效率和降水效益。然而,当前雷达数据仍存在地物干扰、复杂云系解析不足等问题,效果评估也受自然降水影响难以精确量化。未来研究应致力于提升雷达数据质控与算法抗干扰能力,深化多源观测与数值模式的融合应用,加强对云微物理和催化机理的雷达反演研究,从而进一步优化作业指挥决策体系,构建更为客观的增雨效果评估方法,为人工影响天气业务的科学发展提供持续支撑。

参考文献

- [1]白先达,陈博杰,张瑞波,等.新一代天气雷达在人工增雨作业中的应用[J].广西气象,2005,(03):45~48.
- [2]何阳,李红斌,夏歲,等.雷达特征参数在人工增雨(雪)决策中的应用[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(04):125~130.
- [3]张瀛,胡伟萍.新一代天气雷达产品在气象防灾减灾服务中的应用[J].农业灾害研究,2022,12(03):140~142.
- [4]曾惠娟,周伟导,杨立洪,等.雷达资料在平远定点人工增雨作业中的应用[J].广东水利水电,2019,(01):19~21+25.

作者简介:

戴玉芝(1966--),女,汉族,山东济南人,大学本科,高级工程师,研究方向:综合气象观测产品开发研究、人工影响天气。