

人工增雨效果检验及宁夏现状概述

李化泉¹ 田磊² 曹宁³ 穆建华⁴

1. 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 宁夏 银川 750002

2. 宁夏气象防灾减灾重点实验室 宁夏 银川 750002

3. 4. 宁夏回族自治区隆德县气象局 宁夏 固原 756300

摘要: 人工增雨效果检验是人工影响天气科研及业务工作中的重要组成部分。本文总结了目前最主要的三种人工增雨效果检验方法(统计检验、物理检验及数值模式检验),并介绍了宁夏人工增雨效果评估工作进展,可为宁夏效果评估科研及业务工作提供参考。

关键词: 效果检验;统计;影响区;对比区

在自然条件下,云中如果缺乏冰晶,则冷云或混合云过冷层中的过冷水很难转化为地面降水,导致云-雨转化率很低。如果在存在过冷水的云中人工播撒适量浓度的“催化剂”,就可促进云滴增长,提高水-冰转化率,提高催化云的降水效率,实现增加降水的目的^[1]。人工增雨催化根据云的物理结构与降水形成机制的差异,一般有冷云催化和暖云催化2种类型^[2]。

冷云催化是在冷云或混合云过冷层中人工播撒适量的冰晶,加速云内贝吉龙过程,促进云内冰-水转化过程,当云内冰核长大成冰晶时,会释放大潜热,从而使云内温度升高,使云内的温度高于环境温度,从而产生浮力,形成或增大上升气流,促使云体发展,延长云的生命周期,增加地面总降水量。暖云催化是在暖云中播撒吸湿性催化剂,促进云内水汽以吸湿性催化剂为凝结核,通过凝结增长形成云滴,长大到一定大小后通过凝结和碰并过程继续增长为雨滴,待云内上升气流无法拖住雨滴后,下落至地面形成降水。该过程发生的关键是要形成一些足以引起云滴重力碰并过程的大云滴^[3]。

1 人工增雨效果检验方法

目前常用的人工增雨效果检验的方法有3种:统计检验、物理检验和数值模式检验。

1.1 统计检验

统计检验以地面降水量为统计变量,然后对实际测得的催化后的地面降水量与统计估算的地面降水量之间的差值进行统计检验,计算因地面降水的自然变率和估计值的随机误差的差异的大小。如果这种可能性很大(大于5%),就认为人工催化改变实际雨量的效果不显著;若这种可能性很小(小于5%),则认为人工催化效果显著。统计检验分为随机化试验和非随机化试验两类。

1.1.1 随机化试验 随机化试验是最可靠的,也是目

前科学家最认可的评估增雨效果的方法。随机化试验通过随机抽样来决定是否作业。理论上来说只要样本足够多,随机化试验可以做到完全符合于随机抽样原则,并可根据随机抽样理论定量的检验增雨效果并确定其可靠程度。19世纪60-70年代,美国开展了Climax冬季地形云地面播撒AgI烟剂随机试验;以色列进行了冬季过冷大陆积云随机交叉人工增雨试验;我国福建古田水库开展了区域随机回归人工增雨试验^[4]。由于随机试验周期长,需要大量的样本,而且方法本身也难以避免少数极值的影响,难以排除云本身的不确定因素,并且要求放弃一半的可作业机会。因此,随机试验方案在业务化作业中很少采用,而主要用于研究工作中。目前利用随机化检验方法、且被人工影响天气工作者广为认可的几个比较著名人工增雨试验的结果^[4]如表1所示;其中以色列开展的统计检验随机交叉试验最为有名,试验得出了以色列增雨率为15%。

表1 几个比较著名人工增雨效果试验的结果

试验地区	使用方法	增水率
福建古田	统计检验区域随机回归试验	20%-24%
以色列试验	统计检验随机交叉试验	15%
美国西部山区	统计检验	10% ~ 15%

1.1.2 非随机试验 非随机化试验对业务化工作来说是一种代价更小、更易于获得增雨效果的方法,它目前已经在世界范围内应用,并取得了许多社会认可评估结果。随机性试验包括序列实验、区域对比试验、区域的回归及区域控制的模拟实验等。

序列试验中假定作业区自然降水量是平稳的随机序列,并将作业期自然降水量估计为作业区历史平均降水量,其常用于检验防雹效果。耿素江等^[5]利用NCEP在分

析资料,结合辽宁省10年(1981~1990年)无人工增雨作业日及2年有增雨作业日的要素场资料,综合计算了23架次日增雨效果百分率后发现,64.71%的个例增雨百分率在0~30%之间,23.53%的个例增雨量百分率大于30%,11.76%的个例出现负效率。

区域对比试验中假定自然雨量空间分布是均匀的,将对区雨量作为作业区自然雨量的估测值。郝克俊等^[6]利用区域对比试验方法,对四川省2009年12次飞机增雨作业效果进行了分析,发现影响区增雨效果比较显著。

区域历史回归试验是通过比较区域内自然降水的预报变量,对作业点的自然降水情况进行统计估算。周德平等^[7]利用气象常规观测资料,用区域历史回归试验方法,对东北人工增雨作业效果进行了综合分析发现,辽宁省1992-2004年人工增雨效果平均为22.44%,正效果的可信度大于95%。房彬等^[8-10]研发并利用基于聚类的浮动对比区历史回归统计检验方法方法评估了河南省人工增雨效果,发现该方法使得催化及影响区的自然降水量估计值的准确性有了明显提高。

区域控制模拟试验中利用统计数值模拟的方法将“不相似”的样本从天气序列中剔除掉。张连云等^[11]将利用区域控制模拟试验方法评估检验了1989-1991年山东飞机人工增雨效果;结果显示区域控制模拟试验假效果小,相比而言优于其他方法(序列实验、区域对比试验、历史回归试验)。

1.2 物理检验

物理检验一般通过以下三个方面进行对比分析:一是微物理响应参数的变化,主要包括催化作业前云结构的监测参数(如液态云水含量、云凝结核浓度、谱分布、雨滴谱等)、人工播撒后云中的过冷水含量以及地面降水特征;二是动力学相应参数的变化,包括利用天气雷达观测目标云和对比云回波特征变化的参数,如回波顶高、回波强度的垂直廓线和回波持续时间等;三是降水化学参数的变化,包括人工冰核扩散范围、冰核浓度、降水化学成分及凝结核浓度;张瑞波等^[12]利用新型GPS测量仪和新一代天气雷达观测资料,利用物理检验的方法评价了广西飞机人工增雨作业效果发现,催化作业后,高层过冷区和低层暖云区的雷达反射率明显,也更快地到雷达回波峰值,并能持续较长时间。

2 宁夏人工增雨效果评估情况

2.1 情况简介

宁夏是气象灾害发生频繁的地区,由于宁夏独特的地理位置、地形特点以及气候特征,宁夏气象灾害种类多、发生频次高,根据统计,宁夏主要气象灾害造成的

经济损失,排第一的是干旱。宁夏回族自治区党委、政府高度重视宁夏空中水资源的合理开发利用及人工影响天气能力建设,多次要求增强人工增雨雪能力。《自治区人民政府办公厅关于进一步加强人工影响天气工作的意见》中明确提出要增强人工影响天气科技支撑能力,提高作业能力,大力开发空中云水资源。《宁夏回族自治区“十三五”脱贫攻坚规划》、《宁夏生态保护与建设“十三五”规划》及《宁夏回族自治区应对气候变化“十三五”规划》中同样提出要重点加强人工增雨和防雹设施建设,加大人工增雨抗旱、防雹减灾作业力度。目前,宁夏开展增雨作业主要的云系为层状云和混合云,多采用飞机和地面火箭联合作业的方式。

宁夏气象局有计划的在六盘山区开始布设人工影响天气专业探测网;2019年10月,中国气象局与自治区政府签署《中国气象局宁夏回族自治区人民政府共同推进宁夏气象现代化高质量发展合作协议》,明确建设六盘山大气科学野外试验基地,已列入宁夏科技厅“十四五”发展规划;六盘山大气科学野外试验基地以六盘山气象观测站为“主试验站”,隆德气象观测站、泾源气象观测站及泾源大湾等为“辅助试验站”,在六盘山东西两侧分别按照垂直高度200米左右的间隔共设置8套梯度观测站。现布设有微波辐射计2台、Ka波段云雷达4台、微雨雷达3台、激光云高仪4台、X波段双偏振雷达2台、风廓线雷达2台、激光雨滴谱仪16台、GNSS/MET站3个、云凝结核计数器1台、雾滴谱仪2台、二维视频雨滴谱仪1台、全天空成像仪3台、涡度相关系统1套、三维超声测风仪9台。在积累了一定的特种观测资料后,宁夏效果评估工作中新增了基于六盘山大气科学野外试验基地Ka波段云雷达、微波辐射计、雨滴谱仪的观测设备的物理检验的内容。

2.2 人工增雨作业区与对比区选择

2.2.1 地面作业区及对比区选择

在效果检验试验前,为了便于选择科学合理的人工增雨作业影响区和对比区,我们统计了近10年宁夏各县和各作业点年平均作业次数,统计出宁夏全区作业较多的地方和较少区域。绘制出宁夏地面作业需求分布图。

图1为以县为单位统计的宁夏地面作业情况,由图可见,宁夏各县(区)近10a全区平均地面火箭作业量为106枚,每年作业最多的为盐池,近10a平均250枚,作业最少的为惠农区,近10a平均仅为30枚;高于全区平均水平的县(区)有9个,分别为:海源县、红寺堡区、彭阳县、沙坡头区、同心县、西吉县、盐池县、原州区、中宁县,其余13县(区)近10a火箭作业量均低于全区平均。

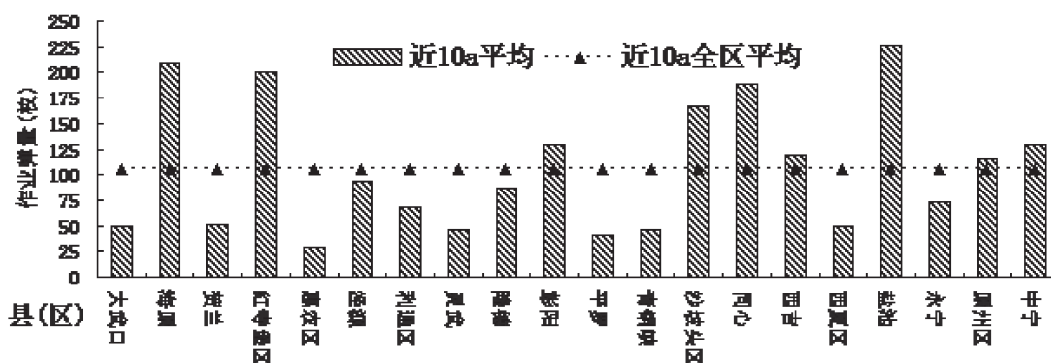


图1 宁夏近10年地面火箭作业统计

将宁夏地面作业情况，按照作业点来进行统计，宁夏作业量较多的作业点主要分布在吴忠的扁担沟、红寺堡镇、沙泉，中卫的中宁白马、宁安、长山头、喊叫水一带的作业点，其次为吴忠盐池的鸭儿沟、王乐井、永宁的望洪、海原的杨明、红羊等作业点，石嘴山及固原的东南部等地作业量较少。

为了检验影响区与对比区划分的合理性，对人影作业影响区和对比区的逐日降水量进行相关性分析，结果为：

在北部，我们选择降水日数相对较多且降水量较大的2012年7月逐日降水量序列进行相关性实验。结果显示，影响区（1区）和对比区（1-1区）的相关系数为0.99。

2.2.2 飞机作业对比区和影响区的确定

根据宁夏飞机增雨作业历史资料统计，由于受到天气气候特征、农作物分布特征、空域限制及作业需求的影响等，宁夏地区飞机增雨作业最多的区域为中部干旱带（中卫、海原、同心、盐池），其次是引黄灌区（银川、石嘴山、吴忠），最后为固原原州区、西吉县，固原原州区、西吉一线以东南地区及中卫地区的西部几乎极少开展飞机作业，同时由于宁夏增雨飞机经常在内蒙乌海、左旗、阿拉善盟、鄂托克旗、鄂托克前旗、陕西定边、靖边开展跨区域作业，宁夏整个北部区域没有对比区域可选。因此，将固原原州区、西吉一线以东南地区及中卫地区的西部作为宁夏飞机增雨作业的对比区。与西吉、原州区一线以东南地区的对比区相对应，当飞机在宁夏中南部地区作业时，可作为影响区，因此对应应该对比区选择两个影响区，一个位于中部干旱带，另一个位于南部山区北部区域，包括原州区、西吉一带。与中卫偏西地区的对比区相对应，当飞机在中北部作业时，可以作为影响区，因此对应应该对比区选择贺兰山沿山作为影响区。

3 总结

目前，我国在人工影响天气业务中常用的是非随机化统计检验方法，但各省区使用的统计检验方法不尽相同，有些省份用一种统计方法的，也有些省份将几种统计方法结合使用。但 these 方法通常都假设自然降水在时间或空间上是平稳的，实际作业很难满足这个假设条件，从而降低了效果评估的可靠性。

人工影响天气效果检验技术是人工影响天气科学实验和业务工作中的一个非常重要的课题。目前，随着人工影响天气观测技术的提升，专业探测设备的增加，人工增雨物理检验越来越受到重视。将统计检验与物理检验相结合，既注重人工增雨物理证据，也注重增雨效果检验的定量化结论，是目前国内外非常重要的发展方向。

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]章澄昌.人工影响天气概论[M].北京:气象出版社,1992.
- [3]郭学良.大气物理与人工影响天气[M].北京:气象出版社,2009.
- [4]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.
- [5]耿素江,班显秀,袁健.基于历史相似天气评估人工增雨效果[J].气象科技,2003,31(4):231-236.
- [6]郝克俊,刘东升,王维佳.2009年四川省飞机人工增雨效果评估[J].资源与环境科学,2010,21:314-317.
- [7]周德平,官福久,王吉宏.东北冷涡云系人工增雨作业效果的检验和分析[J].高原气象, 2003,25(5):951-958.
- [8]肖辉,房彬,孙海燕,等.人工增雨效果检验方法研究的一些新进展[G]//第十四届全国云降水和人工影响天气科学会议论文集,2005.