

云降水物理和 人工增雨技术研究

游景炎 段英 游来光 主编



气象出版社

云降水物理和人工增雨技术研究

游景炎
段 英
游来光

主编

1182

95-97

18

AVI 3

气象出版社

(京)新登字046号

内 容 简 介

本书收集了我国华北近年来云降水物理和人工增雨技术研究和报告38篇,包括天气背景和云水资源;云的宏观特征;云的微物理特征和降水机制;人工增雨的可播性条件;仪器和方法;云降水及其人工催化的数值模拟等6个方面。本书所用资料来源于最近4年外场试验,包括PMS系统、微波辐射计、测雨雷达、卫星云图和中尺度天气探测网等资料,内容具有新颖性和实用性。可供大气物理以及相关学科的科技人员、大专院校师生、人工影响天气试验设计及作业人员使用和参考。

云降水物理和人工增雨技术研究

游景炎

段 英 **主 编**

游来光

责任编辑: 徐 昭 终审: 周诗健

封面设计: 严瑜仲 责任技编: 岳景增 责任校对: 白 璐

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

中国科技信息研究所印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

1994年10月第一版 1994年10月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 19 字数: 468千字

印数: 1—600 定价: 16.60元

ISBN 7-5029-1735-7/P·0688

前 言

河北省是全国水资源最紧缺的地区之一。多年平均降雨量541毫米，居全国第23位。地表水资源量152亿立方米，人均262立方米，亩均152立方米，分别为全国平均值的10%和8.5%，居国内第25位和第27位。尤其近40年来，大部分地区自然降雨量在波动中趋于减少。从50年代到80年代全省降雨量平均减少了15%（80毫米）左右。这样，当前缺水更为严重。水资源不足已成为制约工农业生产发展和人民生活的重要因素。河北省人民政府为了缓解水资源紧缺状况，从多方面增加水的来源。经过充分论证，于1990年批准恢复飞机人工增雨作业。同年，河北省科委将“人工增雨的气象条件与作业技术研究”课题列入“八·五”重点科技攻关计划。

在进行人工增雨作业的同时，开展相应的研究工作。研究课题由河北省人工影响天气办公室和中国气象科学研究院共同承担，有河北省气象科学研究所、河北省气象台等有关单位和大专院校参加。利用作业飞机配备美国PMS系统进行云物理探测；地面配备微波辐射计、测雨雷达、卫星云图接收和中尺度天气探测网；配备有线和无线通信网采集资料和指挥作业；配备高档微机进行数据处理和数值模拟。按计划经过四年作业季节的外场试验，在收集大量资料和数据的基础上，进行了分析研究工作。本书汇集了近四年的科研成果和技术报告，有些已在刊物上发表或有关学术会议上交流，大部分论文是初次发表。由于资料量大，有些资料还来不及消化，作业决策指挥系统建成后运行时间比较短，难免有疏漏的地方。但是，本书作为阶段性科研成果，基本上反映了河北省人工增雨科研工作的新面貌，其内容仍不乏新颖性和实用性。

本书收集研究论文和技术报告共38篇，按其内容可分为6个方面：（1）天气背景和云水资源；（2）云的宏观特征；（3）云的微物理特征和降水机制；（4）人工增雨的可播性条件；（5）仪器和方法；（6）云降水及其人工催化的数值模拟。大部分论文经过科学讨论会提出意见，作了修改和补充。最后由游景炎、段英和游来光统稿和审定。

由于水平所限，收集资料不全，如有不妥之处，祈望指正。

编著者 1993年12月

44-119 / 03

目 录

前言

天气背景和云水资源

- 1、河北省1990—1993年飞机人工增雨作业概况 钱春生 (1)
- 2、春季天气系统分类及其人工增雨条件 钱春生 游景炎 (11)
- 3、河北省自然降水及水资源盈亏的研究 张书余 (23)
- 4、一次迴流降水过程的中尺度分析 游景炎 钱春生 (29)
- 5、一次人工增雨作业的天气学分析 李云川 李江波 (35)
- 6、黄河气旋的云雨特征 赵亚民 (40)
- 7、河北春季各种云状与降水的统计关系 田利庆 孙寿全 (47)

云的宏观特征

- 8、河北地区人工增雨作业降水性层状云的宏观特征 石立新 段 英 孙玉稳 (53)
- 9、1990年河北地区降水性层状云的宏观特征分析 刘海月 (63)
- 10、一次西南涡天气过程人工降水作业云系的观测分析 段 英 钱春生 吴志会 (69)

云的微物理特征和降水机制

- 11、河北省春夏季层状云微物理结构及人工增雨潜力的初步研究 吴志会 (83)
- 12、河北地区春季西风槽系统降水性层状云系的微物理特征与作业效果分析
..... 刘海月 张胜昔 田利庆 姜 岩 (89)
- 13、春季冷锋云系的微物理结构及人工降水条件分析 孙玉稳 (104)
- 14、河北春季迴流云系微物理特征个例分析 吴志会 段 英 石安英 石立新 (112)
- 15、河北地区秋季降水性层状云微结构分析 郭金平 刘海月 (118)
- 16、河北省西风槽系统云物理特征的个例分析 孙玉稳 吴志会 钱春生 (127)
- 17、层状云冰雪晶二维图像分析 郭金平 (135)
- 18、两层云雨滴谱的分布特征及有关人工增雨问题的研究 石安英 (146)

人工增雨的可播性条件

- 19、飞机人工降水作业云可播性条件的观测研究 段 英 吴志会 石立新 (155)
- 20、一次人工增雨作业的713雷达回波分析 杨文霞 马翠萍 (164)
- 21、从不同衰减分贝的回波顶高度看云顶温度及雪粒子的增长 杨文霞 (172)
- 22、利用713数字化雷达回波参数分析河北地区人工增雨播云条件 马翠萍 (180)
- 23、河北省人工增雨催化工具的发展和现状分析 杨文霞 段 英 (183)

仪器和方法

- 24、河北省飞机人工增雨指挥决策系统的设计 刘增基 段 英 (187)
- 25、飞机播云轨迹图的设计 刘增基 陈海英 吴志会 (195)
- 26、云图增强处理在人工增雨作业中的应用 张书余 (202)
- 27、微波辐射计在人工影响天气研究中的应用 朱元竞 胡成达 钱春生 段 英 (207)
- 28、微波辐射计 胡成达 朱元竞 (216)
- 29、浅谈二维PMS云粒子图像的微机显示 田利庆 (221)
- 30、高分辨雨量计的研制 石安英 钱春生 姜 岩 张胜昔 (224)
- 31、人工增雨效果评价资料预处理计算方案 刘增基 段 英 曾光平 (229)
- 32、利用粒子测量系统 (PMS) 研究云物理过程和人工增雨条件 游来光 (236)

33、PMS粒子测量系统主要工作原理、应用和使用方法	李 斌 张建新(250)
云降水及其人工催化的数值模拟	
34、华北春季一次降水过程的物理分析及其人工降水的数值模拟试验.....	汪晓滨 胡志晋 游来光 段 英 吴志会(255)
35、二维层状云数值模拟的初步结果	张胜昔(267)
36、华北平原雾形成的数值模拟	张书余(276)
效果检验	
37、河北省1990—1992年飞机人工增雨效果评价	曾光平 段 英 刘增基(284)
38、河北省1990年干冰催化冷云增雨效果检验.....	石安英 (290)

河北省1990—1993年飞机人工增雨作业概况

钱春生

(河北省人工影响天气办公室, 石家庄 050021)

提 要

河北省恢复飞机人工增雨四年, 主要在4—6月作业, 取得了大量资料。本文就有关天气方面的资料进行统计分析。按习惯分类方法分类, 偏西路径包括: 西风槽、北涡南槽; 西北路径: 冷锋、低压、蒙古气旋; 偏北路径: 东北低压; 西南路径: 西南涡、江淮气旋。统计各月、各类系统作业情况及效果。得出偏西路径的效果最佳、影响区面积大、成功率高。其次是西南涡, 主要影响我省中、南部地区。西北及偏北路径, 多数属混合型云系, 作业后易产生对流天气, 成功率较低, 但一旦成功, 效果较好。据统计5月效果最好, 4月次之。系统发展时在其前部作业成功率高于其它时机和部位。

1 引言

飞机人工增雨在我省中断十几年后, 经专家论证, 省政府批准, 于1990年再次恢复作业。省政府指示: 起步较晚, 但起点要高; 要和科研相结合, 不断提高作业水平。据此我们租用的人工增雨作业飞机, 均是经过改装的专业飞机, 机上装有美国PMS仪(粒子测量系统), 用于测量云滴直径及云滴形态(用二维图像显示); 还装有雷达、碘化银发生器等先进设备。地面上除充分利用省气象台实时资料库的资料(建立了省台和本办(省人工影响天气办公室, 下同)的微机网络)地面、高空天气图资料外, 还有卫星云图, 713雷达观测资料等。本办还和各地区气象台协作, 在必要时由地区台提供雷达加密观测资料; 还可请求有关探空站进行3小时一次的加密观测, 每年作业结束后各地区提供有关降水量及其它必要的资料, 供建立档案使用。与北京大学联合在作业期间装配微波辐射计, 用以观测大气中总含水量, 2年来获得大量资料, 取得一定成果⁽¹⁾。

根据我省气候特征, 春旱对农业生产危害最大, 省政府也要求我们重点放在做好春季增雨工作。为此4年来除1990、1991年7月在张家口地区作业, 及1990年8月下旬到9月在全省作业外, 其它年份均在4月中旬调入作业飞机, 至6月末结束。本文将以4年来4—6月作业的有关资料, 做一些统计分析, 为今后的作业提供参考。详情资料请看本文后附的河北省飞机人工增雨作业简表(附在本文后)

2 统计标准

2.1 天气系统

名称的确定 以500、700hPa影响我省的天气系统为主, 850hPa及地面影响系统为辅。按我省惯用的天气系统名称定名⁽²⁾⁽⁵⁾。在一定条件下, 也可以850hPa、地面影响系统定名。

作业所在系统位置以作业区处在降水区的那个部位为主,适当考虑所处的系统部位而定。

系统演变趋势 系统的强弱变化,很大程度上直接反映在降水的变化上,因此以地面降水区的演变为主要依据。

最大降水量 是指该系统影响我省时,在我省出现的最大累计降水量。它可作为判断系统强弱的一个参考数据。

2.2 增雨效果

影响区面积 首先确定高空风,采用离作业区最近的探空站与作业最相近的时刻所施放的探空为依据。考虑到雨滴在下落时受到作业层以下大气层的气流影响,因此以850—500 hPa的合成风为主,参考飞机实测的高空风,作为影响本架次的高空风向、风速。以此风向、风速确定影响区面积,采用垂直于高空风的航线两端为基准,画出平行于风向的直线;以每小时风速计算,不大于三小时的距离,作为确定影响区范围的依据。

平均雨量 是指影响区内所有测站的平均雨量。

对照区雨量 是指对照区内所有测站的平均雨量。由于我省地形南北长,东西窄,又处于西风带中,因此上风方的测站多在山区,台站比较稀少,失去比较性。为弥补其不足,除尽量选用上风方的测站外,还经常以影响区两侧一定距离范围内的测站作为辅助对照区。一般选用对照区的测站数量尽量接近影响区的站数,但距离不能太大,避免将很多无降水的站选进对照区。

增雨量 用下式进行计算

$$\text{增雨量} = (\text{影响区平均雨量} - \text{对照区平均雨量}) \times \text{影响区面积}$$

用此方法计算出的增雨量虽不很严格,但较直观,可称之为直观效果。至少它还可作为比较各架次之间作业效果的参考数据。

3 统计分析

3.1 综述

4年来共飞行136架次,其中作业88架次,占总飞行架次的64.7%。其余的架次大多数是对云的探测。4—6月共飞行99架次,其中作业66架次,占总数66.7%。从表1中可看出每年4—6月总飞行架次为22—29架次,其中作业15—18架次,年际差异不大。从月来看,5月最多,作业30架次,占总架次73.2%。其次是4月(仅半个月左右)17架次,6月最

表1 历年各月飞行及作业架次

年	4月		5月		6月		7月		9月		合计	
	总架次	作业架次	总架次	作业架次	总架次	作业架次	总架次	作业架次	总架次	作业架次	总架次	作业架次
1990	5	4	9	7	8	7	12	9	13	5	47	32
1991	14	9	8	6	7	0	12	8			41	23
1992	2	1	16	12	7	5					25	18
1993	5	3	8	5	10	7					23	15
合计	26	17	41	30	32	19	24	17	13	5	136	88

少。

表2 历年各月平均每架次直观增雨效果 (单位: 面积为 10^2km^2 增雨量为 亿m^3)

年	4 月		5 月		6 月		平 均	
	面 积	增 雨 量	面 积	增 雨 量	面 积	增 雨 量	面 积	增 雨 量
1990	99.3	0.45	11.6	0.25	59.3	0.36	56.7	0.35
1991	103.9	0.22	203.5	0.32			102.5	0.18
1992			159.7	0.33	220.5	0.26	126.7	0.20
1993	100.0	0.20	223.0	0.22	187.3	0.28	170.1	0.23
平均	75.8	0.22	149.5	0.28	116.8	0.23	114.0	0.24

表2反映了历年各月平均每架次增雨的直观效果。除1990年播撒干冰外,其它年份均以碘化银作为催化剂。1990年增雨量较大,但由于作业时间较短,影响面积较小。其它年份年际变化不大,1993年直观效结最好。从月际变化看,5月不仅增雨量较大,面积也最大,其次是6月。

4年总增水量 23亿m^3 ,平均每年 5.75亿m^3 ,增雨率28.1%,4—6月平均每年 4.72亿m^3 ,增雨率24.9%。表3列出各月全省平均降水量,它说明1992、1993年4—6月总降水量比1990、1991年平均少约50%。1993年在关键的4、5月降水量距平均不足50%。就

表3 全省各月平均雨量及增水量 (单位: 亿m^3)

年	4 月				5 月				6 月				合 计			
	雨 量	距 平	增 水 量	距 平	雨 量	距 平	增 水 量	距 平	雨 量	距 平	增 水 量	距 平	雨 量	距 平	增 水 量	距 平
1990	43	163.5	1.78	163.3	71	165.1	1.78	81.3	63	85.9	2.50	173.6	177	124.2	6.06	128.4
1991	44	167.3	1.97	180.7	54	127.9	1.89	86.3	111	151.4	0	0	210	147.4	3.86	81.8
1992	6	22.8	0	0	34	79.1	3.96	180.8	45	61.4	1.28	88.9	85	59.6	5.24	111.0
1993	12	45.6	0.59	54.1	12	27.9	1.12	51.1	74	101.0	1.99	138.2	98	68.8	3.70	78.4
平均	26.3		1.09		43.0		2.19		73.3		1.44		142.5		4.72	

是说可增的雨量大大幅度减少。1992年降水量距平为59.6%,而增水量距平却高出平均值11个百分点。尽管1993年增水量距平只有78.4%,是这四年中最少的一年,但它仍高于降水量距平10个百分点,大旱之年,经过飞机人工增雨作业,增水量仍有所增加。6月平均增水量也少于5月,这是由于6月已进入雷雨季节^[4],作业难度增大。由此可知,从天气条件来看,4—5月是增雨最有利时期。

3.2 各类天气系统的作业情况

目前飞机人工增雨是以稳定性的层状冷云为主要催化目标。不同的天气系统一般可以反映出云的不同结构和不同的作业条件。因此统计各系统出现频率,分析不同天气系统的作业情况,可得出在现有的技术水平下,选择哪些天气系统作业较为有效。

在各系统中,西风槽作业架次最多,达37架次,占总作业架次的56.9%。其次是西南涡

表 4 历年各月各天气系统作业架次及每架次平均效果

路 径		西				北				西				南			
系统名称		槽				锋				蒙古气旋				东北冷涡			
月	年	架次	增雨量	平均面积	架次	增雨量	平均面积	架次	增雨量	平均面积	架次	增雨量	平均面积	架次	增雨量	平均面积	架次
4	1990	3	0.35	72.3	1	0.72	180.0										
	1991	6	0.32	148.7				8	0.02	14.3							
	1992																
	1993				2	0.00	0.0							1	0.59	300.0	
	合计/平均	9	0.33	123.2	8	0.24	60.0	3	0.02	14.3				1	0.59	300.0	
5	1990													2	0.00	0.0	0.0
	1991	2	0.28	259.5													
	1992	12	0.33	159.8										4	0.45	20.3	1
	1993	5	0.22	223.0													
	合计/平均	19	0.30	186.9										2	0.00	0.0	0.0
6	1990	2	0.02	18.0	1	1.65	167.0	1	0.53	151.0				3	0.39	97.6	1
	1991																
	1992	4	0.10	143.3										1	0.89	528.0	
	1993	3	0.00	0.0	3	0.37	269.0	1	0.89	504.0							
	合计/平均	9	0.05	67.7	8	0.37	269.0	1	1.65	167.0	2	0.71	327.5	1	0.89	528.0	3
合计/平均		37	0.24	142.4	8	0.37	269.0	4	0.59	86.8	2	0.71	327.5	3	0.30	176.0	12
																	0.0

注：平均面积是指影响区平均面积，单位： 10^3km^2

12架次, 占总作业架次的18.5%。其它系统均不足5架次(见表4)。

按天气系统的路径统计, 西北及北路径中, 以西北冷低压的直观效果最好, 不仅平均增雨量 0.71亿m^3 , 而且影响区的平均面积也最大, 为 $327.5 \times 10^2\text{km}^2$, 2架次均较成功。其次是冷锋, 平均增雨量 0.59亿m^3 , 但影响区平均面积较小, 仅 $86.8 \times 10^2\text{km}^2$, 是这5个系统中最小的一个。再次是东北冷涡, 它的平均增雨量不大, 只有 0.30亿m^3 , 但影响区平均面积较大, 为 $176.0 \times 10^2\text{km}^2$, 仅次于西北冷低压。

从表5中可以看到冷锋及东北冷涡二个系统的成功率并不高, 均不足50%, 即有一半以上的作业, 未取得效果。众所周知, 以上三类系统有一个共同的特征, 不稳定性天气较多^[2]。从宏观资料统计中也证实颠簸较多的就是这三个系统^[3], 有的作业后很快出现雷雨天气, 如1990年6月20日就在冷锋前方的飑线前作业; 又如1993年6月16日在西北路径冷低压中的一条冷锋前作业, 作业后不久就有雷雨天气^[5]。总之, 这类系统如抓住好的时机, 选择好作业的部位, 有可能取得较好效果, 否则可能失败。另一方面是要注意安全, 切不可麻痹。因此在这类系统中作业, 应慎重考虑。

表5 历年各天气系统有效作业架次占作业总架次百分比

路 径		西				西 北				北		西 南					
系统名称		槽		北涡南槽		冷 锋		冷 低		蒙古气旋		东北冷涡		涡		江淮气旋	
月	年	有效架次	%	有效架次	%	有效架次	%	有效架次	%	有效架次	%	有效架次	%	有效架次	%	有效架次	%
4	1990	2	66.7			1	100.0										
	1991	5	83.3							1	33.3						
	1992																
	1993					0	0.00							1	100.0		
合计/平均		7	77.8			1	33.3			1	33.3			1	100.0		
5	1990											0	0.00	4	100.0	0	0.00
	1991	2	100.0											4	100.0		
	1992	12	100.0														
	1993	5	100.0														
合计/平均		19	100.0									0	0.00	8	100.0	0	0.00
6	1990	1	50.0			1	100.0	1	100.0					1	33.3		
	1991																
	1992	3	75.0									1	100.0				
	1993	0	0.00	3	100.0			1	100.0								
合计/平均		4	44.4	3	100.0	1	100.0	2	100.0			1	100.0	1	33.3		
总计/平均		30	81.1	8	100.0	2	50.0	2	100.0	1	33.3	1	33.3	10	83.3	0	0.00

西南涡和西风槽系统则在绝大多数情况下是稳定性天气，而且降水过程维持时间较长。4年来在西风槽的每个降水过程中平均作业2.53架次，西南涡作业2.40架次。这二个系统作业成功率也很高，均在80%以上（见表5）。从平均增雨量来看，除6月较差外，4、5月平均架次增雨量均在 $3 \times 10^7 \text{m}^3$ 以上，可见效果是比较好的。尤其是西风槽，不仅出现次数较多，而且影响区域较大，时常从南到北均有降水。西南涡影响面积相对比较小，经常只有邢台、邯郸二个地区，很少有越过石家庄、衡水一线⁽⁴⁾。影响区的平均面积也反映出这种情况，西风槽的影响区平均面积为 $142.4 \times 10^2 \text{km}^2$ ，而西南涡只有 95.1×10^2 平方公里。

3.3 作业所在的部位和作业时机的统计

表6 在各天气系统作业的不同部位和演变趋势的效果

		系统的部位								系统演变趋势					
		有效				无效				有效			无效		
		前部	中部	后部	边缘	前部	中部	后部	边缘	发展	少变	减弱	发展	少变	减弱
西	西风槽	16	11	3		3	1	2	1	9	18	3	1	3	3
	北涡南槽	2	1							2	1				
西北	冷锋	1	1			1		1		2				1	1
	冷低压	2								2					
	蒙古气旋				1	1			1			1	1	1	
北	东北冷涡		1			1		1		1			1		1
西南	涡	3	1		6			2		1	9				2
	江淮气旋							1							1
合计		24	15	8	7	6	1	7	2	17	28	4	3	5	8

从表6中看到，在系统的前部、中部共作业46架次，占总作业架次的70.8%。在这46架次中成功率为84.8%。而在系统后部作业10架次，成功率只有30%。在系统边缘作业的9架次中有6架次是在西南涡的北部边缘作业，均获成功，在其系统的边缘作业，成功率就较低。

从系统演变趋势来看，在发展和少变的情况下作业成功率很高，达 $45/53 = 84.9\%$ ，而在系统减弱的情况下，成功率只有 $4/12 = 33.3\%$ 。

作业成功与否，还涉及很多方面，如云层结构及有关微物理问题等，这些问题的讨论请参看《河北省春夏季层状云微物理结构及人工增雨潜力的初步研究》⁽⁵⁾。

4 结论

4年共作业88架次，作业时间77小时40分钟，总增水量为23亿 m^3 ，增雨率28.1%，和国内统计的增雨率基本相吻。实践证明，从天气角度来讲，只要选择好时机、系统及目标区就可能取得成功。

时期 以4月下旬到5月这个农事播种的关键季节，也是稳定性云系较多的季节是最佳

河北省飞机人工影响天气作业简表

年、月、日	作业概况及效果						天气系统			
	起止时间	作业区域	影响面积 (10km ²)	平均 雨量	对照 雨量	增水量 (10 ⁶ mm)	名称	作业所在 系统部位	系统演 变趋势	过程最 大降水 量
1990.4.22	16:30—16:45	保定西部	180	11.8	7.8	0.72	西北冷锋	中部	发展	23
4.29	18:55—19:24	保定中部								
4.30	05:38—06:35	邢台、邯郸西部	217	6.8	2.4	1.06	西风槽	前、中部	发展	51
4.30	09:09—09:25	邢台								
5.12	06:47—07:00	张家口南部					东北冷涡	前部	发展	54
5.16	07:35—07:58	邢台、邯郸	81	43.2	21.2	1.78	西南涡	北部	少变	78
5.16	09:48—10:14	邢台、邯郸						西北部		
5.16	16:15—16:37	邢台、邯郸								
5.16	19:06—19:27	邢台、邯郸								
5.19	09:50—10:07	唐山					东北冷涡	后部	减弱	3
5.31	11:38—12:05	张家口					江淮气旋	后部	减弱	3
6.6	07:50—08:25	张家口	151	6.7	3.2	0.53	西北路径低压	前部	发展	50
6.17	09:01—09:30	张家口坝上	36	1.1	T	0.04	西风槽	前部	减弱	1.7
6.17	17:34—18:00	张家口						后部	减弱	
6.20	08:37—08:55	张家口	167	14.5	4.6	0.65	西北冷锋	前部	发展	40
6.24	16:53—17:15	邢台、邯郸	61	7.3	2.7	0.28		前部	少变	
6.24	20:01—20:21	邢台、邯郸					西南涡			48
6.25	16:55—17:18	衡水、沧州						后部	减弱	
7.1	09:23—09:47	石家庄、衡水	76	16.2	5.1	0.84		边缘	少变	71
7.1	12:25—12:45	石家庄、衡水					西南涡			
7.1	15:30—15:47	沧州、衡水						后部	减弱	
7.6	08:04—08:15	邢台						前部	发展	
7.6	13:20—13:38	邢台	2.4	9.5	3.0	0.02	西北路径低压			120
7.6	17:45—19:25	石家庄	60	5.1	0.6	0.03		中部	少变	
7.13	04:55—05:34	张家口	103	16.2	13.9	0.24	东蒙冷涡	中部	少变	112
7.13	08:35—09:20	张家口	135	1.8	0.2	0.22		后部	少变	
7.18	07:41—08:02	保定	89	6.7	1.2	0.49	东蒙冷涡	中部	少变	18
9.22	09:13—09:33	邯郸、邢台	1.9	1.3	0.7	0.01	西南涡	边缘	少变	4
9.26	10:54—11:01	石家庄					北涡南槽	前部	少变	10
9.26	17:24—17:36	保定	23	1.4	0.9	0.01		后部	减弱	
10.10	16:29—16:48	石家庄					西风槽	边缘	减弱	
1991 4.6	16:30—17:02	张家口南部					内蒙气旋	前部	发展	18
4.7	09:01—09:55	承德					内蒙气旋	南部边缘	少变	
4.9	20:17—21:00	张家口南部	43	4.9	3.5	0.06	蒙古气旋	东部边缘	减弱	
4.10	15:23—16:23	张家口、保定、石家庄	86	8.3	5.3	0.26	西风槽	前部	少变	18
4.11	10:15—11:24	衡水、石家庄、邢台	194	0.5	0.3	0.04		前部		
4.11	15:51—16:46	石家庄、邢台	380	11.0	9.0	0.76	西风槽	中部	少变	18
4.11	20:15—20:58	邢台、邯郸						中部		
4.16	18:17—19:10	邢台、邯郸	101	8.2	2.7	0.56	西风槽	前部	发展	46
4.17	13:54—14:42	石家庄、保定、衡水	131	16.0	13.8	0.29		后部	减弱	

续表

年、月、日	作业概况及效果						天气系统			
	起止时间	作业区域	影响面积 (10km ²)	平均 雨量	对照 雨量	(10 ⁸ m ³) 增水量	名称	作业所在 系统部位	系统演 变趋势	过程最 大降水 量
5.5	07:23—09:23	石家庄、邢台、邯郸	70	2.8	1.5	0.09	西南涡	前部	少变	14
5.5	17:22—12:52	石家庄、邢台、邯郸	205	5.6	4.7	0.20		北部边缘		
5.22	15:17—16:32	保定、石家庄、邢台	144	1.1	0.7	0.05	西风槽	中部	少变	15
5.23	08:27—10:16	张家口、保定	378	1.8	0.4	0.51				
5.24	07:36—08:33	石家庄	165	6.8	5.0	0.30	西南涡	前部	发展	89
5.25	08:53—10:08	石家庄、邢台、邯郸、 衡水	259	5.9	3.0	0.74		中部		
7.18	04:53—05:53	张家口西部	220	1.6	0.5	0.24	西风槽	前部	少变	4
7.18	07:26—08:36	张家口北部						中部		
7.18	09:58—10:31	张家口南部								
7.21	07:50—08:16	张家口中部、南部	204	13.4	8.7	0.96	西风槽	前部	少变	37
7.21	14:25—14:47	张家口东部						中部		
7.27	08:27—09:10	张家口中部	85	1.9	0.1	0.15	西北路径低压	前部	发展	20
7.28	06:43—08:08	张家口北、东部	180	5.5	0.3	0.93		中部		
1992.4.20	17:07—17:43	邢台、邯郸	897	15.9	13.9	1.77	西风槽	前部	少变	58
5.4	06:01—07:29	石家庄、保定、衡水								
5.4	09:56—10:46	石家庄、邢台、衡水								
5.4	16:20—17:28	保定、石家庄、邢台								
5.4	21:07—21:22	邯郸、邢台、石家庄、 衡水、沧州						中部		
5.5	09:51—11:33	衡水、沧州	65	2.8	2.5	0.02	西风槽	前部	少变	7.6
5.11	20:46—22:05	邢台、邯郸						中部		
5.12	07:09—09:17	衡水、保定、张家口	171	2.2	0.7	0.27	西风槽	前部	减弱	7.6
5.12	14:22—16:13	沧州、唐山	103	1.1	0.1	0.10		中部		
5.14	06:33—08:09	邢台、石家庄、保定、 衡水	227	10.4	7.3	0.70	西风槽	前部	少变	33.1
5.14	10:16—11:10	衡水、保定								
5.14	14:51—16:48	衡水、沧州、廊坊	202	5.1	3.6	0.29	西风槽	中部	发展	14.9
5.15	10:50—11:42	张家口	227	4.4	1.3	0.72		后部		
6.2	06:35—07:50	张家口	131	1.5	0.9	0.11	西风槽	前部	少变	15.9
6.5	14:04—15:38	保定、张家口	25.5				东北冷涡	中部	发展	36.7
6.20	15:04—15:52	石家庄、衡水								
6.20	17:34—19:10	衡水、石家庄、邢台	25.5				西风槽	前部	发展	25.5
6.21	07:20—07:26	衡水								
6.21	11:53—12:15	沧州、唐山						后部		
1993.4.21	07:22—08:30	石家庄	300	3.7	1.7	0.59	西北冷锋	锋后	少变	5.0
4.28	09:18—09:40	石家庄					西北冷锋	前部	减弱	无
4.30	10:12—12:26	石家庄、邢台、邯郸、					西南涡	北部边缘	少变	32.5

续表

年、月、日	作 业 概 况 及 效 果						天 气 系 统				
	起止时间	作 业 区 域	影响面积 (10^4 km^2)	平均 雨量	对照 雨量	增水量 (10^8 m^3)	名 称	作业所在 系统部位	系统演 变趋势	过程最 大降水 量	
5.11	16:35—17:52	保定	446	7.0	5.5	0.66	西风槽	前部	发展	40.4	
5.11	21:04—22:09	保定、石家庄、邢台									
5.12	07:31—09:33	石家庄、保定、衡水、 沧州	384	5.7	4.8	0.36	西风槽	前部	少变	1.5	
5.15	14:08—15:59	石家庄、邢台、邯郸	504	5.7	4.0	0.89		后部	减弱	1.0	
5.15	20:14—20:51	沧州、衡水					蒙古低涡	前部	发展	35.4	
6.10	08:04—09:13	张家口					西来弱	前部	少变	14.1	
6.16	08:37—09:53	保定、张家口						北部边缘	减弱		
6.20	22:00—22:33	邯郸、邢台	187	2.8	1.9	0.17	北涡南槽	中部	少变	54.9	
6.21	09:18—10:54	沧州、衡水、邯郸、 邢台、石家庄						前部	发展		
6.26	21:22—22:23	石家庄、邢台、邯郸	306	2.4	1.3	0.35	北涡南槽	前部	发展		
6.27	08:21—10:09	石家庄、衡水、邢台	314	4.2	2.3	0.58					
6.27	13:47—14:24	邢台、邯郸、衡水、 石家庄									

季节。6月对流性天气增多，但仍有有利的作业条件。

系统 以西风槽和西南涡最为有利，它们可作业的时间较长，且影响面积也较大。其它系统也要密切注意，在一定的环流条件下，也可出现极为有利的作业条件，但维持时间短，故要紧紧抓住时机。

目标区 要选择在前部、或中部，而在后部作业不仅成功率低，增水量也很小。最好在系统发展和少变时机进行作业。

参 考 文 献

- 〔1〕朱元竞等，微波辐射计在人工影响天气研究中的应用（见本书）。
- 〔2〕河北省气象局，天气预报手册，气象出版社，22—34页，1987.6月。
- 〔3〕石立新等，河北地区人工增雨作业降水性层状云的宏观特征（见本书）。
- 〔4〕田利庆等，河北省春季各种云状与降水的统计关系（见本书）。
- 〔5〕钱春生、游景炎，春季天气系统分类及其人工增雨条件（见本书）。
- 〔6〕吴志会，河北省春夏季层状云微物理结构及人工增雨潜力的初步研究（见本书）。

SUMMARY OF AIRCRAFT ARTIFICIAL PRECIPITATION OPERATION IN HEBEI PROVINCE IN 1990—1993

Qian Chunsheng

(Hebei Province Weather Modification Office, Shijiazhuang 050021)

Abstract

We have carried out again aircraft artificial precipitation operation for four years, mainly in April—June, obtained a large amount of data. This paper statistically analysed the related weather data according to the conventional classification, the west path includes westerly trough and north vortex-south trough pattern; the northwest path: cold front, low pressure and Mongolia Cyclone; the north path: Northeast Low; and the southwest path: Southwest Vortex and Jianghuai Cyclone. It is found that by the west path, we received optimum effectiveness and success rate, as well as have the largest affected area. The second is Southwest Vortex, which mainly affects the southern and central parts of Hebei province. For the northwest and north paths (mostly mixed-type cloud systems), there is a tendency to induce convective weather after operation, thus have low success rate; however, once success, it would bring about a good result. According to the statistics, the best effectiveness is in May and the second is in April. The success rate operated in the front of and during the development of the systems is higher than other location and other time.

春季天气系统分类及其人工增雨条件

钱春生

(河北省人工影响天气办公室, 石家庄 050021)

游景炎

(河北省气象台, 石家庄 050021)

提 要

本文按天气系统活动路径分为: 偏西路径, 称西风槽; 西北、偏北路径, 称冷锋; 西南路径, 称西南涡。西风槽前降水面积较大, 一般为南北走向, 是飞机人工增雨的最佳系统之一。西南涡位于河南时, 河北省南部地区已处在暖切变北侧的偏东气流中, 除系统性降水外, 地形爬坡也是重要因素, 因此降水中心常出现在南部地区, 尤以太行山麓更为多见。冷锋类天气比较复杂。稳定性降水云系较少, 目前尚难以实行飞机人工增雨作业的对流性天气比重较大, 但还有一定数量的混合型云系, 在合适的时机进行作业, 则将取得良好的效果。

分析表明, 只要针对不同的天气系统, 选择好目标区, 抓住稳定性或混合型降水云系, 进入目标区的早期, 进行飞机人工增雨作业, 可望取得一定效果。

1 引言

河北省春季(4—6月)天气系统比较复杂, 它既有冬季以冷空气活动为主的冷锋、冷涡类天气系统也有以暖空气活动为主的西南涡之类的初夏天气系统^[1]。这给飞机人工增雨工作既带来了有利条件, 也带来了不少困难。分析四年来在各种天气系统下作业情况, 企图得出有利与不利于飞机人工增雨作业的条件。

在《河北省1990—1993年飞机人工增雨作业概况》^[2]一文中已按较通用的分类方法, 将作业的各类天气系统归纳成: 偏西路径(西风槽、北涡南槽); 西北路径(冷锋、冷低压、蒙古气旋); 偏北路径(东北冷涡); 西南路径(西南涡及江淮气旋)。共四条路径、八类天气系统。并根据统计分析得出, 西风槽和西南涡是飞机人工增雨较有利的天气系统。依照上述分类及分析, 重点讨论西风槽和西南涡, 与这两个系统相似的北涡南槽、江淮气旋分别归入这两个系统。其它系统均纳入冷锋类进行分析。

2 西风槽(包括北涡南槽)

它是西风带中的一个波动, 包含各种波长的波动。一般冷空气由西伯利亚经新疆进入河西走廊, 东移影响河北省(图1)。如在蒙古出现低涡, 并在其底部配有南北向的槽, 影响我省天气的主要是其底部的槽, 即北涡南槽。以下统称西风槽。

分析15个进行飞机人工增雨作业的西风槽过程, 大体可归纳为三种不同类型: 阻高型、短波槽、非典型个例。

2.1 阻高型

此类主要特征是西风带暖高移至华北或东北地区时叠加在西太平洋副热带高压上, 形成