

气象科学技术集刊

(人工影响天气的试验研究)

中央气象局气象科学研究院编

2

气象出版社

1982

气象科学技术集刊

(人工影响天气的试验研究)

中央气象局气象科学研究所编

气象出版社

1981

内 容 简 介

本书选编了1961——1978年在人工影响天气试验研究方面的部分论文，共二十篇。其主要内容包括：云雾宏、微观物理结构，人工影响降水，冰雹和消雾试验报告，观测仪器、基础实验和理论研究等。这些资料和研究成果对开展人工影响天气的试验工作具有参考和指导作用，同时为微波传导技术、光在大气中透射等应用提供了有益的启示。

本书可供云雾物理研究、人工影响天气试验、气象观测、天气预报、航空、航海等气象人员和大专院校师生参考。

气象科学技术集刊(2)

中央气象局 编
气象科学研究院

气象出版社出版
(北京西郊白石桥路46号)

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本：787×1092 1/16 字数：230千字 印张：9.25 印数：2500

1982年6月第1版 1982年6月第1次印刷

科技新书目：30—97 统一书号：13194·0076

定价：1.00元

前 言

人工影响天气是近三十多年发展起来的一门新的学科。世界上许多国家由于工农业生产、生活用水和水力发电等方面的需要,进行了不同规模的人工影响天气试验研究,取得了相当的进展。

我国的云雾物理观测研究和人工降水、防雹试验已有多年的历史。为了防御干旱、雹灾,保证农业生产,本院人工影响天气研究所的同志们做了许多观测和试验研究工作,获得了一些云和降水的宏、微观资料以及有实际意义的科研成果。这些成果从多方面反映了我国云雾物理研究人员进行的努力和探索,对于开展人工影响天气试验研究有一定的启发思路和指导实践的作用。现将这些成果选编成集刊。

由于我们的水平有限,文中不妥之处,欢迎批评指正。

中国科学院大气物理研究所黄美元等同志曾对本集刊的文稿提出许多宝贵的修改意见,我们在此表示感谢。

编 者

一九八一年二月

目 录

吉林春季层状云中降水元增长条件的研究	游来光等 (1)
一次碘化银地面烧烟试验	鄧大雄、熊光莹、易仕明 (10)
过冷层状云中飞机播撒催化剂的扩散问题	申亿铭 (17)
碘化银炮弹在过冷层状云中爆炸后催化剂的扩散问题	申亿铭 (27)
1962 年 8 月在湖南省用盐粉催化浓积云降水的试验	郭恩铭、马培民、孙奕敏、李玉昆、杨友循 (30)
飞机播撒四聚乙醛催化降雨试验分析	江祖凡、黄永隆、蒋根旺、黄庚、胡志晋 (39)
积云数值模拟初试	胡志晋、蔡利栋 (46)
北京地区夏季雷雨云活动的雷达探测	郭恩铭、陈雪琴 (57)
上海地区雷雨云下气象要素的变化与雷雨云发展状态的关系	许焕斌 (64)
冰雹云降雹过程的观测与分析	郭恩铭 (75)
中高层冷平流对雹云发展的影响	张纪淮 (80)
冰雹的声讯息	许焕斌 (85)
浓积云降水个例分析	陈万奎 (91)
江西九江地区夏季积云的宏观特征	胡志晋等 (97)
庐山云雾微结构特征初步分析	陈万奎等 (108)
催化层状云降水的盐粉粒度问题	胡志晋、潘在桃 (118)
机载铂电阻测温仪	程刚、高宪、许继武、关立友、吴艳容 (123)
云室绝热膨胀造雾问题	陈汝珍 (126)
庐山爱根核测量结果与初步分析	张伯津 (133)
对流层冰核浓度的观测和初步分析	游来光、王鹏云、杨金锡、孙奕敏 (141)

吉林春季层状云中降水元增长条件的研究

游来光 等*

一、引言

本文根据 1963 年 4 至 6 月初在东北吉林地区,对降水性层状云所做的 15 次飞机观测结果,分析了层状云中降水元的凝华增长、淞附增长和碰并增长的条件。并对 6 次东北气旋系统计算了降水元增长过程的个例 12 个。本文着重探索以下几个问题:(1) 春季主要降水系统的特点如何?(2) 云的结构与微观物理的条件如何?(3) 降水元增长的整个过程中以哪一类过程重要些?(4) 降水的自然激发与增长条件的相互配合,对降水过程的影响如何?

二、云的观测

1963 年春季吉林省西部干旱,在利用飞机进行人工降水的同时,沿飞行航路进行了云层结构的各项观测。飞机装有气象计、含水量仪、滴谱仪、积冰表和冰晶取样器。

含水量观测利用滤纸型含水量仪,暴露时间 30—60 秒,相当于航路上水平距离 2.5 公里至 5.0 公里上的平均值,取样体积 36—72 立升。在云中每隔 2—3 分钟取样一次。用熏有氧化镁烟层的碰撞取样器观测云中滴谱,滴与斑的直径比取 0.8。冰晶(包括雪晶)取样用 11 微米厚的铝箔,下面以微孔橡胶衬托。取样时间一般为 1—10 秒不等,视云中晶体浓度而定,相当于取样体积 0.28—2.8 立方米。取样航路长 70—700 米。铝箔取样用来观测冰晶(雪晶)的浓度、大小、形状。晶与斑的直径比取 1。用铝箔观测雨滴时,滴与斑的直径比由检定确定。云层的温度特征由飞机气象仪记录。

在 28 次飞行中,选择了资料较为完整的 15 次进行分析。其中有 8 次飞行未达云顶,云顶高度只能由机上目测估计。

三、天气系统

本文分析了 6 次气旋系统。这 6 个春季东北气旋虽有很明显的不同,但是也有以下的共同特点:

(1) 气旋都是从蒙古或贝加尔湖移来,不是在本地发生的,伴有较大的、移动较快的西风槽(大多来自西北方向,只有 5 月 3 日一次例外)。

(2) 冷锋活动比较明显,而暖锋多不明显,甚至有的没有暖锋(或者虽有,但其结构上可能很特殊),不论纬向上幅度大的(‘V’形槽南拖很长的)气旋,或是形状一般的圆形气旋,降水区与中云系绝大多数都在槽前,即在西南风或南风区内。所以,气旋一般都只分槽前、槽后雨区,没有很像挪威模式的那种暖区(有的长‘V’形气旋往往在最北部有一块暖锋云雨区,但远在黑龙江或更北)。

(3) 雨区多是块状,并且在不少情形下距中心颇远(可能有地形作用)。这或许是反映气

* 本工作是在程纯枢总工程师指导下,与吉林省气象科学研究所合作,于 1964 年完成的。

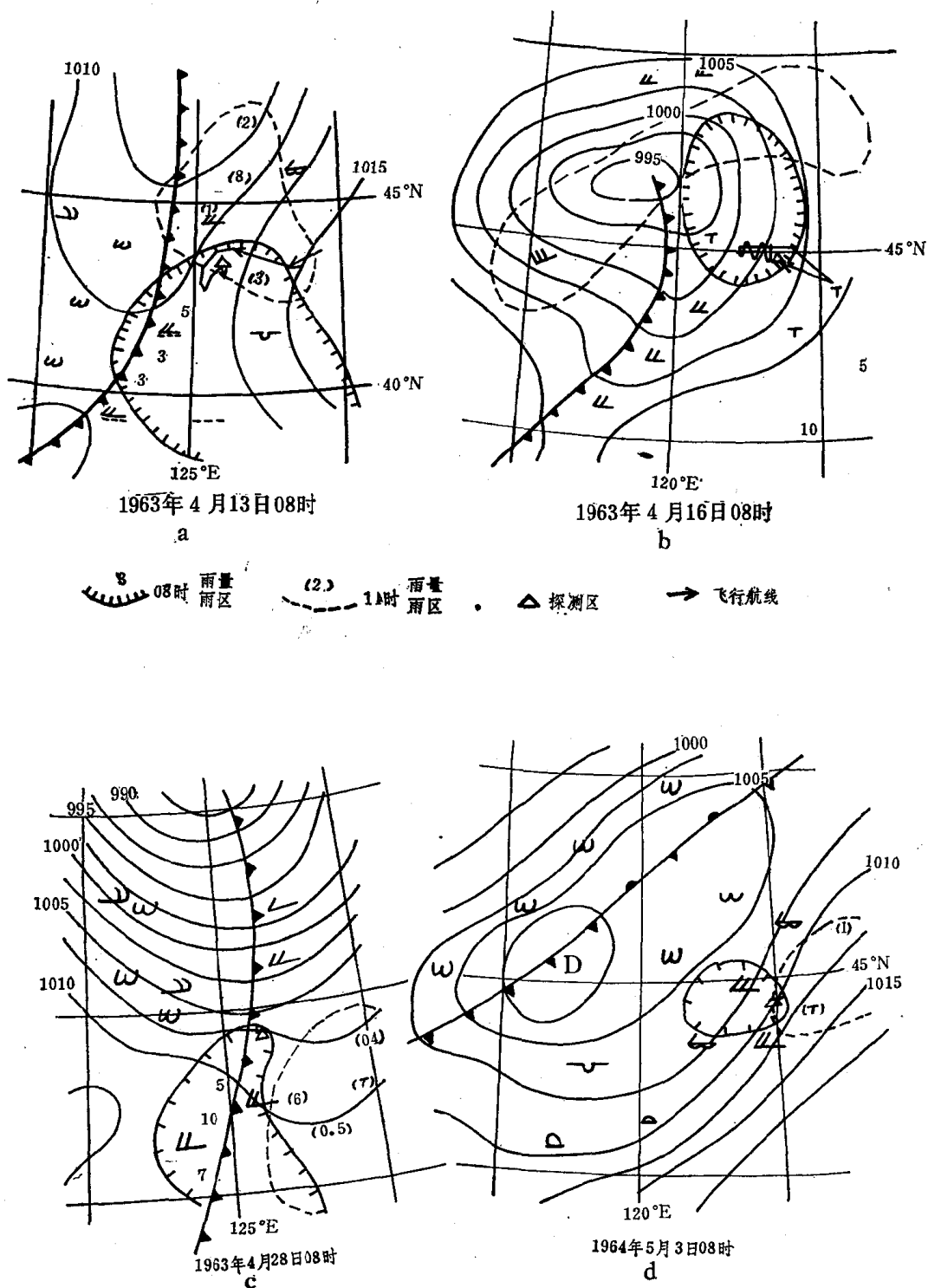
表 1 各算例云结构特征情况简表

日期	时间	云状	云底		云顶	0°C 层高度(米)	过冷层上限		达云底时雨滴质量(克)	各过程相对增长量(%)			天气系统
			高(米)	温(°C)	高(米)	温(°C)	高(米)	温(°C)		凝华	淞附	碰并	
4月13日	10 ³⁰ 至11 ²⁰	As Sc	900	5.5	6000	-23	3300	-8	1.60×10^{-4}	58.6	30.8	10.6	在东北气旋的长‘V’形槽南部，槽前雨区附近无暖锋。
4月13日	14 ³⁰ 至15 ³⁰	As Ns	700	6.5	5600	-21	3200	-5	2.60×10^{-4}	16.6	77.6	5.8	雨区北移，飞行区在雨区边缘。
4月16日	08 ⁵⁰ 至09 ²⁰	As	2200	-3.5	4400	-12	4300	-12	4.04×10^{-4}	14.0	86.0		蒙古移来的气旋，较紧，暖锋似在形成中。飞行区在雨区的前缘，雨很弱（国外西南方也有雨区）。
4月16日	10 ³⁰ 至11 ¹⁰	As	2200	-3.5	4400	-13	4020	-11	6.46×10^{-4}	13.3	86.7		飞行区在雨区内，但仍近南部边缘。
4月28日	06 ⁴⁰ 至07 ²⁰	As	1600	-0.2	5800	-19	2200	-3	1.85×10^{-4}	40.0	60.0		吉林处在较深的东北气旋长‘V’形槽南部，本雨区附近无暖锋。飞行区在冷锋附近的雨区边缘，雨区距中心很远。
4月28日	08 ³⁰ 至09 ²⁰	As	1600	-0.2	5800	-19			9.6×10^{-5}	100.0			飞行区已在雨区后部。
5月3日	09 ²⁰ 至09 ⁵⁰	As Sc	1200	7.3	4900	-11.5	4200	-7	5.2×10^{-4}	13.6	76.8	9.6	在一蒙古大气旋前部的孤立的雨区边缘，气旋的锋面与高空槽都不强。本雨区可能属于40°N附近的另一锋区。
5月3日	11 ²⁰ 至11 ⁵⁰	As Sc	1200	7.3	4400	-9	4200	-7	3.5×10^{-4}	20.6	66.4	13.0	
5月4日	08 ³⁰ 至09 ¹⁰	As Sc	800	7.0	4700	-14	4500	-12	1.5×10^{-3}	4.4	52.3	43.3	昨天的气旋现在中心在吉林省西部附近。冷锋后的雨带弯向前，可能有暖锋结构。槽前有两块独立的两雨区。飞行区接近气旋中心。
5月4日	14 ⁴⁰ 至15 ¹⁰	As Sc	1200	2.0	4200	-13	4200	-12	6.0×10^{-4}	3.0	7.5	89.5	飞行区位于气旋冷锋附近。
5月7日	08 ⁴⁰ 至09 ¹⁰	As	1600	1.7	5500	-18	3100	-4	1.84×10^{-3}	9.8	90.2		河西形成的气旋，中心在吉林西部附近。槽前有大片雨区，飞行区在雨区中、西部。
5月7日	09 ⁵⁰ 至10 ²⁰	As Ns	700	5.0	5500	-18	4600	-11	1.10×10^{-3}	6.2	20.4	73.4	飞行区在气旋中心前的雨区中心附近。

旋中系统性上升运动不强盛(雨量很小,一般 6 小时不过 2、3 毫米)。虽然气旋不小,而且有时气压梯度也相当大,但雨区面积不大。

以上很多迹象都可能是反映移动性西风槽锋生条件和发展条件不好(实际上对流层中部的锋区也不强)。

各次特点的一些具体差别见表 1。图 1 为各次 08 时地面天气图。



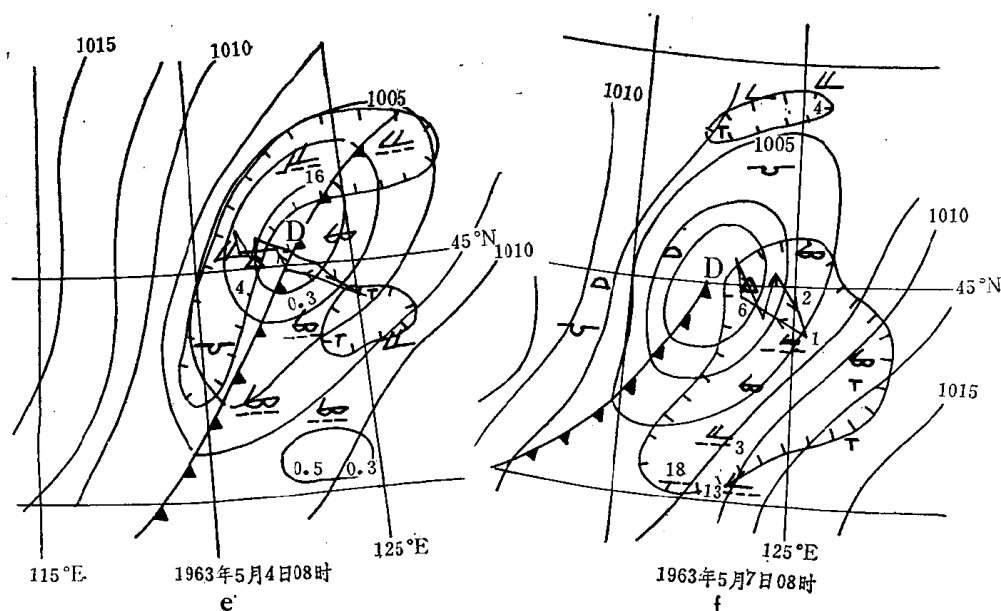


图 1 各次 08 时地面天气图

四、降水元的增长条件

根据已有的研究,层状云中降水元的增长有多种过程,而各过程的重要性决定于云的特点。下面根据对云结构的观测,分析降水元通过各不同过程增长的条件。

(1) 凝华增长 冷云降水多由冰晶的凝华增长开始,凝华增长率决定于环境相对于冰面的过饱和度。一般过冷水经常只在云层冷层的中、下部存在。因此,在温度较低,缺少过冷水的层中,冰晶的凝华过程是在水面饱和与冰面饱和之间的湿度条件下进行的。

在我们所分析的这些个例中,云中过冷水层上限高度处的温度,出现在 -15°C 与 -2°C 之间,这说明各例间凝华增长条件的差异是很大的。图 2 为混合层(有过冷水)顶部温度的频率分布。表 2 为有过冷水存在的(混合结构)层的厚度与 0°C 层以上至云顶整个冷层厚度的比值(α)和云顶温度的关系。

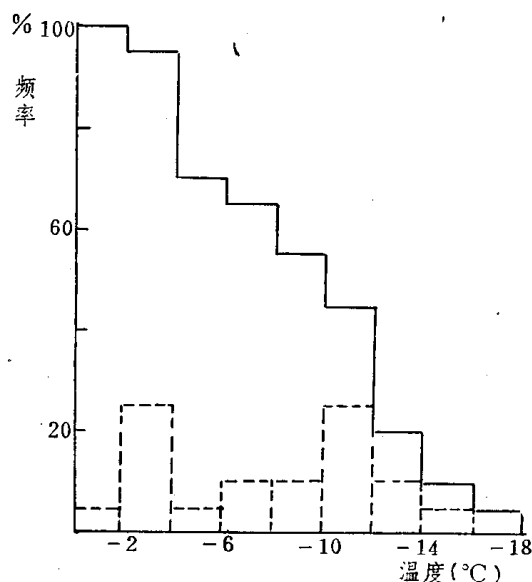


图 2 混合层顶部温度的频率分布

由图 2、表 2 可以看出,温度在 -9°C 的条件下,冰晶在水面饱和条件下进行凝华增长的机会约占总数的一半;在 -12°C 减至 20%;在 -14°C 仅有 10%。

从表 2 可以看出,如果不考虑雪晶落速的变化,在 15 次个例中,雪晶在水面饱和条件下增长的路径超过整个增长路径一半的($\alpha > 1/2$)有 10 次。其中有 9 次是当云顶温度在 -10 与 -15°C 之间,1 次是在 -15 与 -20°C 之间。当云顶温度低于 -20°C 时, α 都小于 1/2,主要是在低于水面饱和的湿度条件下增长。因此,很明显,随着云顶温度的降低,雪晶能在水面饱和条

表 2

比 值 (α) \backslash 云顶温度($^{\circ}\text{C}$)	$-10 > t > -15$	$-15 > t > -20$	$-20 > t$
$< 2/4$	1	2	2
$2/4-3/4$	3	1	
$3/4-1$	6		

(注: α = 有过冷水存在的层的厚度/整个冷层厚度)

件下凝华增长的路径相对减少。

(2) 淞附增长 根据雪晶取样确定各次观测中雪晶带有冻滴痕迹的上限高度, 图 3 为带冻滴雪晶出现的下限温度的频率分布。根据图 3, 当云中温度为 -9°C 时, 有淞附过程进行的机会约为 40%, -10°C 时为 31%, -12°C 时为 12%, -14°C 时降至 4%。图 4 为观测带有冻滴的雪晶出现的上限高度(Z)与存在有过冷水(混合层)的上限高度(Z_i)的相关。图中直线为这两个高度相同的线。由图 4 看出, 除极个别次数外, 各点大都集中在线的附近, 这说明只要云中有过冷水存在就有雪晶的淞附过程进行。

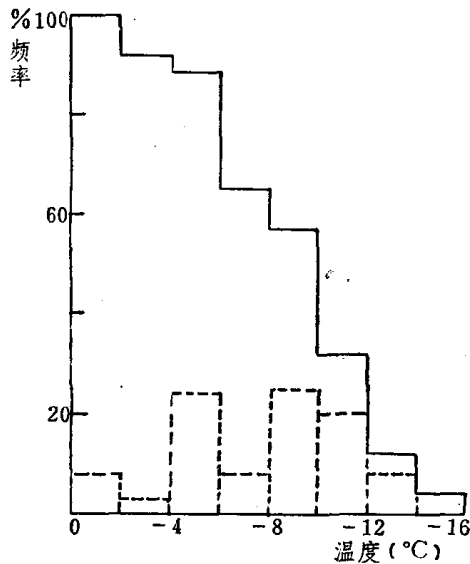


图 3 带冻滴雪晶出现的下限温度的频率分布

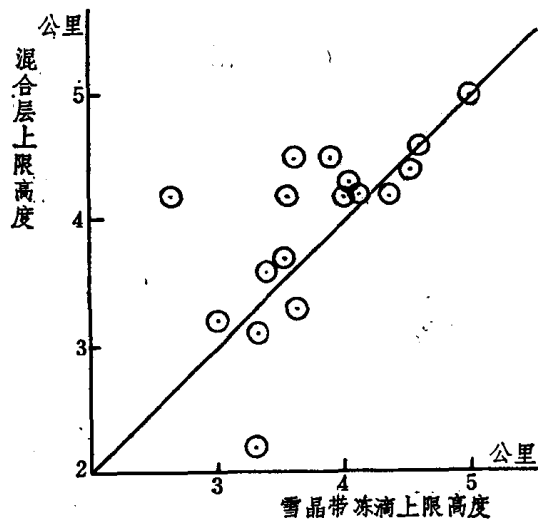


图 4 带冻滴的雪晶出现的上限高度与混合层上限高度相关

雪晶在云中的淞附增长量与增长率和雪晶本身的形状、大小以及云的条件(过冷水层的厚度、液水含量、云滴谱等)有关。在 15 次探测中, 由冰、水混合构成的层厚在 600—2600 米的范围内, 过冷水含量在 0.01 克/米^3 至 0.96 克/米^3 的范围内, 平均值为 0.14 克/米^3 。有多少过冷水能参与淞附过程, 还要看过冷云滴的直径分布, 雪晶在下落过程中只能扑集较大的滴。已有的研究结果指出^{[1][2]}, 能扑集的云滴直径多在 20 微米以上。图 5 给出混合层中过冷水滴均立方根直径($\sqrt[3]{\bar{D}^3}$)的频次分布。由图 5 可见, $\sqrt[3]{\bar{D}^3}$ 一般都大于 10 微米, 其中有约占总次数的一半大于 25 微米, 有 22% 的次数, 直径大于 30 微米。可见, 云中过冷水大多都可以参与雪晶淞附, 但云中滴谱上的差异很大, 因此, 在计算降水元增长时需根据当时情况, 分别对待。

(3) 雪晶对冰晶的碰并 雪晶通过对冰晶的碰并和雪晶之间的碰并增长率与增长量,

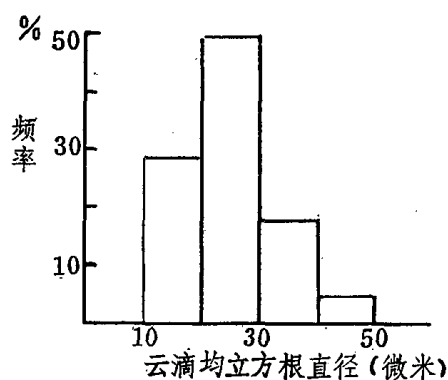


图 5 过冷水滴均立方根直径的频率分布

要看含有固体粒子的云层厚度、固态水含量(克/米³)及雪晶对冰晶的扑获性能。间接估算的冰晶态含水量平均值为 7.3×10^{-3} 克/米³, 最大值 5.1×10^{-2} 克/米³, 在观测总次数中有 87% 小于 1.14×10^{-2} 克/米³。从这个估算结果看, 冰晶态含水量是不大的。另外, 根据试验结果^[3]来看, 固体粒子间的碰并系数是小的, 因此, 综合起来考虑, 通过与固体粒子碰并增长量比淞附增长量约小两个量级。可以认为降水元通过与固体粒子的碰并增长贡献不大。

(4) 融滴在云中暖层对云滴的碰并 在 15 次个例中, 0°C 层以下完全没有暖层的仅 4 次, 其余各次暖层厚度在 400 米至 1350 米的范围内, 平均厚度 700 米。暖层最大含水量 1.97 克/米³, 平均含水量为 0.31 克/米³。暖层虽然不厚, 但含水量较大, 使得在暖层的碰并增长在降水元的整个增长过程中仍相当重要。

总的看来, 各次事例间, 降水元增长条件的差异是很大的。由于云条件上的差异, 降水元自云的上部冰晶开始形成到云底雨滴形成的整个过程中有几种不同的增长方式, 它们对降水元质量上的贡献以及它们之间的相互联系, 在各次事例之间的差别也大。下面只能在简化的条件下, 根据已有的降水元增长理论, 进行一些个例分析, 初步看看几种增长过程的相对重要性。

五、降水元的增长过程

根据以上分析, 设降水元的增长分三个主要过程: 凝华过程、淞附过程和碰并过程。

(1) 用 Mason 的片晶增长率公式^[4], 假定自观测上限高度以下的冷层中雪晶都是在水面饱和的湿度条件下增长, 并利用中谷^[2]的片晶直径与质量的关系, 在冰、水混合层以上各高度上落速取 0.3 米/秒, 在混合层中的落速由混合层上限高度开始线性增加至下限高度处的 1.0 米/秒。此外, 不考虑垂直气流对雪晶增长路径上的影响。在飞行上限高度处的雪晶直径用该高度上的观测平均值。向下按 500 米分层计算凝华增长量。温度取各层平均值。

(2) 雪晶按圆盘形考虑, 用质量增长率公式: $dm/dt = \pi D_s^2 E u w / 4$ 计算在混合层中的淞附增长量。仍按 500 米分层, w 为含水量, 取各层平均值。 D_s 为雪晶直径, 取该层上的凝华增长值。 E 为扑获系数, 利用 Weickmann 给出的扑获系数图查出^[5]。云滴大小取该高度层中实测滴谱计算的均立方根直径 $\sqrt[3]{D^3}$ 。

(3) 雪晶落到 0°C 层后融化, 仍采用 Weickmann 给出的球滴对云滴的扑获系数, 含水量仍取各层中的平均值, 计算 0°C 层以下的暖层中的碰并增长。

按以上方法计算了在东北气旋系统中的 8 次飞行共 12 个降水元增长的事例。表 1 给出了降水元通过三种过程增长的质量各占降水元增长总量的百分比、达到云底时降水元的质量、云的条件及天气系统特点。由表 1 可见, 三种增长过程对降水元增长的相对贡献在各次间出入很大。

图 6 为降水元增长量的计算结果与实际地面降水强度的对比。

从表 1、图 6 可以看出, 凝华增长量只在个别事例中有重要贡献, 一般以淞附过程贡献最大。观测期间云层的暖部多较薄, 或者完全没有暖层, 碰并过程一般不很重要。但是在个别事

例中,例如 5 月 4 日上午和 5 月 7 日,降水元则主要是在暖层增长的,而且地面相应有较大的降水强度。

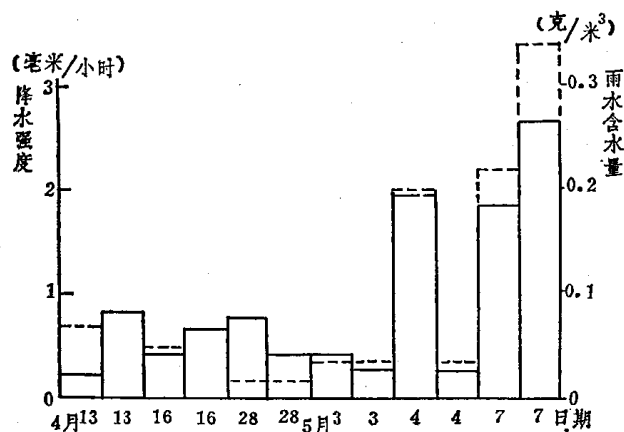
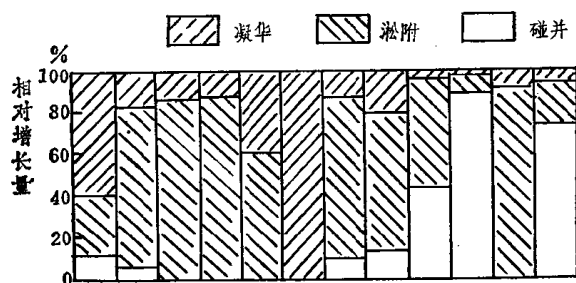


图 6 各增长过程对降水元总增长量的相对贡献(上图)与各例的实测降水强度(下图)

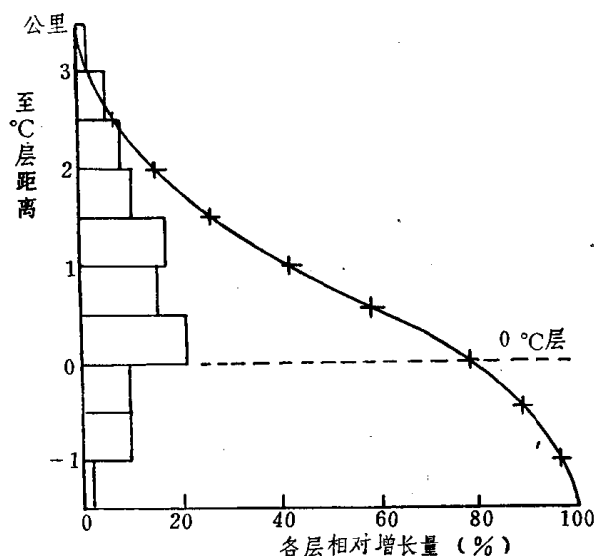


图 7 各层相对增长量的高度分布

图 7 给出每 500 米各高度层中降水元的相对增长量(%)的高度分布平均情况(高度座标取各层至 0°C 层的相对距离)。由图看出,降水元的质量有 40% 是在 0°C 层以上 1 公里中增长的,另有 40% 是在 1 公里以上各层增长,有 20% 是在 0°C 层以下的暖层中增长的。增长最迅速的层是 0°C 层以上的 1.5 公里的层中。

图 8 为雪晶直径随高度变化的计算值与观测值的对比。

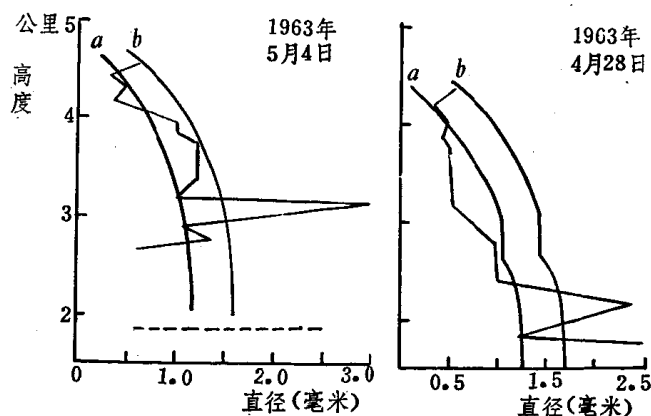


图 8 雪晶直径随高度变化的计算结果(a,b)与实测值的比较

六、天气系统与增长条件

以上分析表明,降水元增长过程计算结果所表现出的差异,是由于云的条件不同造成的。云的条件反映各次天气系统的大尺度动力、热力过程上的差异和大气中所包含的微观条件以

及所探测的天气系统部位上的差异。这些个例中的天气系统类型、强弱、部位都有不同程度的差别。

各个天气系统结构上的差异比较大,由于观测个例少,下面只能根据表 1 的材料来看其中的某些特征:

(1) 在深厚的气旋雨区边缘一带,凝华占降水元生长的主要部分(如 4 月 13 日上午和 4 月 28 日)。在这些例中,如果没有淞附、碰并过程参与,降水元在云的较高层凝华增长也不明显的情况下,往往增长的最终质量都小,一般只有 10^{-4} 克左右。

(2) 在槽前雨区内部,淞附在降水元的增长中占更大比重,可达 60—80%。这些例中,降水元一般都能增长至具有较大质量的雨滴,一般在 10^{-4} 与 10^{-3} 克之间。

(3) 碰并比重大的例子比较少,它需要在 0°C 层以下有较好的云层条件。5 月 4 日锋后、锋北有较长条的雨区,这表示气旋中锋生较强,所以云中水份也较充沛,这一例中的碰并占 43—90%。5 月 7 日雨区较大,反映气旋前部辐合较强,飞机上升部位的淞附占 90%。飞机回程已在 1 小时后接近气旋中心,云的结构已很不相同,碰并占 73%。在这样的个例中,降水元质量都可增长至 10^{-3} 克以上。

下面对观测资料较多的 4 月 16 日、28 日及 5 月 7 日三次个例进行分析,计算的出云雨滴质量(联系雪晶平均浓度)和地面降水强度相比较见表 3。结合表 1 分析,这三次事例在云层结构上以及降水过程上都有显著不同,表现在:① 雪晶浓度不同;② 降水强度不同;③ 降水元的出云质量不同;④ 降水元增长的诸过程对增长总量上的相对贡献不同。

表 3

日 期	出 云 雨 滴 质 量 (克)	雪晶平均浓度 (个/米 ³)	降水强度 (毫米/小时)
1963.4.16	5.25×10^{-4}	73	0.48
4.28	1.41×10^{-4}	580	0.16
5.7	1.47×10^{-3}	280	2.80

从这些差异可以看出这几次降水增长过程的特点。4 月 16 日(比较强的暖锋)雪晶浓度低,出云雨滴质量较大,表示增长条件较有利,雪晶与过冷云滴的淞附增长显得重要。4 月 28 日(虽在冷锋上,但雨区距中心很远)雪晶浓度高,出云水滴质量较小,增长条件相对来说是不利的,雪晶凝华增长显得重要,淞附过程只占次要地位。5 月 7 日(比较弱的暖锋)雪晶浓度中等,出云水滴的质量大,淞附过程与暖层的碰并过程显得重要,凝华增长的贡献很小。

雪晶浓度可以看为是降水的自然激发因素,降水元的最终大小表示降水的增长条件。因而,可以认为,4 月 16 日的云中,降水元增长条件比较有利,自然降水的激发不足。4 月 28 日云中降水增长条件不利,而自然激发较强。5 月 7 日的云中,降水增长有利且自然激发也较充分。由降水强度看,5 月 7 日最大,4 月 16 日次之,4 月 28 日最小。可见,降水强度大小不仅要看雪晶浓度的多少,还取决于增长条件。

从这三次的天气系统特点及飞行所处的部位分析,4 月 16 日的气旋环流比较强,飞行观测的雨区位置处在一个发展良好的气旋暖锋应有的云系位置(图 1 b),飞行区近 850 毫巴环流中心,高层的云发展不强盛。4 月 28 日的气旋发展深厚、南北幅度大的‘V’形气旋,飞行区位于南部冷锋附近,低层辐合不强,高层较强,云层厚且云顶温度较低(图 1 c)。5 月 7 日飞行区距气旋中心区较近,低层辐合强盛,云层发展较好。

总的看来,系统的强度以及系统中的不同位置,在很大程度上规定了降水元层的自然激发状况与增长条件的配合关系。配合好的降水充分(如5月7日),配合不好的则降水较差(如4月16、28日)。

七、结 语

综上所述,对春季东北气旋的自然降水过程得出以下几点认识:

(1) 观测表明,吉林地区4、5月份降水性层状云中降水元的主要增长过程是凝华、淞附、碰并增长。由于天气系统与云层条件的差别,各个增长过程的增长条件逐次间有很大不同。在个别情况下,淞附、碰并的条件完全不存在。凝华增长过程有56%的机会能在水面饱和的条件下进行。在 -9°C 的温度条件下有淞附过程进行的机会为40%, -10°C 时为31%, -12°C 时为12%, -14°C 时降至4%。

(2) 降水增长过程的计算表明,凝华过程只在个别情况下对降水元的增长量上的相对贡献才是重要的,12次个例的平均仅为25%。淞附过程对降水元增长量的相对贡献最大,平均为55%。在这个期间,暖层中的碰并过程尚不很重要,其相对贡献仅为20%。但在个别情况下,降水元主要是在暖层增长的。

由平均情况看, 0°C 层以上,降水在各层的增长量随高度而减少,降水元质量的40%是在 0°C 层以上1公里的层中增长的, 0°C 层以下的暖层增长占20%。

(3) 春季西风槽给吉林带来气旋天气,但不同的运动条件使各个气旋的构造有显著的差别。一般说来,西风槽移动中缺乏良好的锋生条件,大多缺乏良好的暖锋,多是在槽前甚至距气旋中心很远有一片雨区。

系统深厚,云顶温度也相应较低的例子,一般降水元的浓度也大,但如果增长条件不利,则降水强度就不大。相反,增长条件有利而雪晶浓度过低的例子,也没有较大的降水。可见,充分的降水既决定于降水的自然激发因子,又决定于降水元的增长条件,配合较好的才有较大的降水。因此,系统强弱及高、低层的配合,在降水增长上是十分重要的。但例子较少,天气学及云微结构的观测、分析都尚不深入,还没有把握指出构造如何的气旋,在它的各个部位,以上的配合关系是怎样的,从而研究它的人工催化条件。

(4) 天气系统强弱及部位不同而引起降水元增长条件与自然激发情况的差异,这说明人工降水催化条件出入颇大。从本文所分析的这些例子相对而言,深厚的气旋雨区边缘部份,人工催化是不利的,槽前雨区中心部份,通过人工催化,可望能增大降水;接近气旋中心部份最有利于降水元的增长,自然激发也较强,降水强度一般也较大,但由云中含水量条件推测,仍有一定的人工增雨潜力。

今后对于考虑云层中的水份收支关系,分析人工增雨潜力、催化的时机、部位与人工催化技术设计等科学问题,有待于进一步探讨。

参 考 文 献

- [1] Nakaya. U.. Snow Crystals, Harvard Univ press, 1954, 117.
- [2] Grunow. J., Some Crystals analysis as a method of indirect aerology, *Geoph. Monog.*, 5, 1960, 130.
- [3] Hallgren. R. E. and C. L. Hosler., Preliminary results on the aggregation of ice crystals, *Geoph. Monog.*, 5, 1960, 257.
- [4] Mason. B. J., The physics of clouds, Oxford press, 1957, 169.
- [5] Weickmann. H., A nomograph for the colculation of collision efficiencies, *Artificial Stimulation of Rain*, Pergamon press, 1957, 161.

一次碘化银地面烧烟试验

鄧大雄 熊光莹 易仕明

1961年春,我们在河北省保定地区进行了一次地面多点(保定地区地处太行山东麓,十个烧烟点分布在平原及半山区)烧碘化银人工降雨试验。

试验的设想是,在华北春季出现回流天气时,有较好的云系条件,如增加成冰核,可能有利于降水的形成与增大,在这种天气形势下,低层有偏东气流,由于地形抬升作用,烟核可能被带到空中,到高空槽前西南气流中,烟核又被带回,估计影响区仍可能在保定地区。本文介绍的是1961年4月20日的一个典型例子。

一、天 气 形 势

1961年4月16日,冷空气从贝加尔湖进入我国东北,18日东亚大槽已在 140°E 库页岛区建立。这期间大陆上的大高压也迅速向东南移动,其中心18日已从辽宁入海。在入海高压的后方,河套地区有一个小槽。4月17日午后,河套西部开始有Cu cong和零星阵雨,18日02时雨区稍扩大,且有雷雨。19日雨区仍未移入山西。由于后方是暖区,不利于此系统发展,20日雨区已大见缩小,且稍向东北方伸展。这个系统的雨量很不均匀,但6小时雨量中心在10—20毫米之间,且中心在河套东北部不大的范围内移动(图略)。

出海高压的西南缘,从4月18日起在湖北出现NW—SE向的切变(横槽)。这一切变20日已推至河北南沿,但层次较浅,此时500毫巴已无切变,全是西南风(图略)。

试验时(4月20日18时—21日03时)上述两个系统都已减弱。4月20日08,14时,太原阴Ac tra,保定、石家庄多云Ac tra,保定地区午后逐渐变为As op,并出现Sc op和Fc,个别站在烧烟前已见零星雨点。

20日20时,保定地区各站气温均在 21°C 左右。以后由于日变化和下雨,温度逐渐下降,如保定20时为 21.9°C ,21日02时为 13.9°C

保定无探空,从北京及太原探空看, 0°C 层及 -5°C 层平均分别在680及620毫巴,大致相当于3200和4000米。20日20时北京探空曲线中,在950—932毫巴极薄的一层有 1°C 的逆温。北京、太原气层温度递减率见表1。

表 1

气 层 (公里)	<1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6
北 京 ($^{\circ}\text{C}/\text{公里}$)	5	7	5	5	4	3
太 原 ($^{\circ}\text{C}/\text{公里}$)	5	1.5	7	10.5	4	8.6

试验前地面风速很小,风向也比较乱。20日20时保定地区的风向风速分布见图1,可以看出,在保定地区中南部存在地面风向的辐合现象。从图1还可见,石家庄地区地面湿度较大,湿舌指向保定地区。21日02时以后,全区风向均转为东北,风速也增大至4—5米/秒。

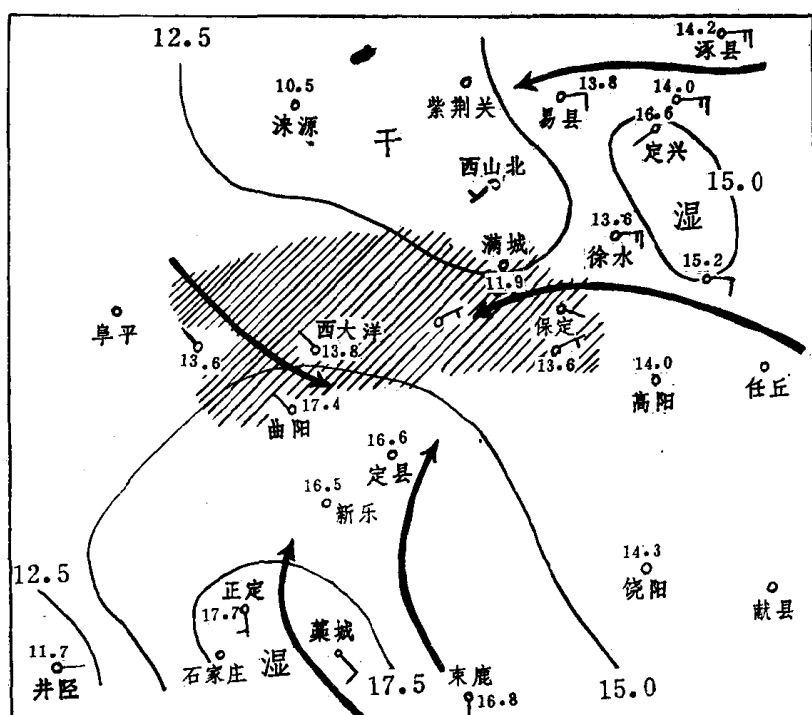


图 1 1961 年 4 月 20 日 20 时地面流场及绝对湿度分布

由保定高空测风记录(表 2)可见, 20 日 18 时, 2 千米以下主要是东风, 风速 3 米/秒左右; 2000—4000 米为偏北风, 2500 米处偏北风最强, 达 8 米/秒; 21 日 09 时 25 分, 由地面到 650 米, 东北风显著加强, 平均约 9 米/秒。

表 2

高 度(米)	风 向(度)	风 速(米/秒)	高 度(米)	风 向(度)	风 速(米/秒)
4 月 20 日 18:00			5000	240	6
300	86	4	5500	243	5
500	82	3	6000	234	5
1000	192	1	4 月 21 日 09:25		
1500	24	2	50	43	7
2000	350	5	150	48	11
2500	11	8	250	47	10
3000	46	2	350	50	5
3500	17	1	450	51	11
4000	200	2	550	51	9
4500	242	3	650	68	8

二、地面烧烟情况

将碘化银研成粉末, 以 1:10 的比例与柴油拌和, 造成悬浮状的混合物。用核桃般大小的木炭块浸入这种液体中(使其浸透), 然后将木炭取出, 投入用砖砌成的火炉中燃烧。火炉温度、燃烧所产生的碘化银粒子大小及成核率均未加测量。为保证有足够的核, 要求各点烧碘化银的速度达到平均每小时 300 克左右。

4月20日各点在18—21时之间先后开始烧烟,当雨点变密时即停止。各点烧烟时间及碘化银用量见表3。

表 3

烧 烟 地 点	烧 烟 时 间			碘 化 银 用 量 (克)
	开 始	终 止	持 续	
保 定	20:25	3:15	6.50	2000
西 山 北	20:00	1:30	5.30	1500
紫 荆 关	20:40	3:00	6.20	1000
完 县	18:25	19:40	1.15	500
曲 阳	17:45	21:45	4.00	1000
白 石 口	21:10	0:15	3.05	1500
银 坊	20:00	22:00	2.00	500
王 快	18:50	1:00	6.10	2000
西 大 洋	—	—	—	1000

三、阵 雨 情 况

试验后搜集了保定地区及石家庄地区北部气象站的降水记录,大清河水系、滹沱河水系水文站及雨量站降水记录。其中58个站点有较详细的降水量及降水起迄时间记录,另有11个站点20—21日无雨。用这69个站点的记录绘出20,21日两天降水量等值线及降水开始时间等值线图(见图2)。从图中可以看出:

1. 4月20日16时左右,保定、石家庄两地区西部山区开始降水,然后向东北方向(保定地区)推进。西部山区开始下雨出现在烧烟之前,但此时降雨量很小。

2. 降水量分布为一东西向狭长带状,轴线在满城到平阳一线,降水中心在中唐梅,降水量达10毫米。西部山区及东部平原降水量很小,或者没有下雨。5毫米等雨量线的面积约为 80×10 平方公里。

3. 降水主要出现在夜间,从紫荆关、西山北等站的记录可以看出降水有较大的间歇性。因无雨量自记,无法知道降水强度随时间的详细变化。但从降水量较大的几个站,如满城、定县的记录看,降水主要发生在4月20日19时—21日05时,这正好在烧烟后几小时。

4. 4月21日8—16时,石家庄仅在西部山区一个较小的范围内出现降雨,东部及保定地区都无降水。

四、讨 论

由于这次试验缺乏更详细的碘化银粒子大小、成核率、烟团轨迹等资料,所以只能从烧烟有效或无效的某些征候,加以粗略地讨论和估计。

(一) 烧烟有效的某些征候

1. 河套陕北的主要雨区于4月20日晨伸到晋北后消失,而没有越过太行山东移。4月20日20—24时,太原、大同蔚县均无雨,太行山东沿的涞源、阜平等五个站均无雨或雨量仅0.1毫米(如果是从西或西北方移来的雨区,这些站应记录到更大的降雨)。

2. 入海高压西南方的切变线附近雨区零落,4月20日20时至次日晨河北南部和山东雨量都很微小(根据天气图气象报告)。20日下午至夜间石家庄地区大多数雨量站无雨或仅有1—2毫米的降雨。因此可以推断保定地区的1—10毫米的雨区也不是从南面移来的。