

吉林省层状云中过冷水含量分布特征及人工增雨潜力研究

刘健^{1,2} 于勇² 蒋彤² 陈知新² 米长树²

(1. 南京气象学院研究生部 南京 210044; 2. 吉林省人工影响天气办公室 长春 130062)

摘要 2001~2002年在实施人工增雨作业的同时利用美国粒子测量系统,对吉林省5~7月降水性层状云进行了科研探测。通过对探测资料的分析,得到以下结论:(1)吉林省的降水性层状云主要分为3种云型:雨层云降水、蔽光高层云—层积云降水、透光高层云降水。其中雨层云中过冷水含量最大;(2)云中过冷水含量与云底高度为负相关,与过冷层厚度为正相关;(3)3种云型中距0℃层高度以上400~600m高度范围内过冷水含量达最大;(4)3种云型的可播度为86%。雨层云的人工增雨潜力为最大。

关键词 层状云过冷水含量 云层配置 人工增雨潜力

云中过冷水含量是云中重要的微物理要素之一,特别是在人工增雨工作中该物理量显得尤为重要。因为目前催化云层多为系统性层状冷云,就层状冷云人工增雨潜力条件而言,云中的过冷水含量是最重要的参数之一^[1]。2001~2002年我们利用中国科学院大气物理研究所引进的美国粒子测量系统(PMS)在吉林省对5~7月的降水性层状云进行了探测。本文针对这2a PMS系统所取得的微观资料中的云含水量资料进行处理、分析,找出在不同的天气背景下,云中过冷水含量在云中的分布特征。根据 Bergeron 提出的关于冰晶水滴共存、水滴蒸发和冰晶凝华增长的降水理论可知云中过冷水含量的多少及云体过冷却部分是否缺乏冰晶是衡量云中降水转化效率的主要指标,因此,对降水性层状云中过冷水含量分布特征进行研究,可以为人工增雨外场作业中寻找过冷水含量大值区提供理论依据,减少外场作业中存在的盲目性,可进一步提高人工增雨效率。

1 观测和资料处理

2001~2002年利用 PMS 系统对吉林省 5~7 月的降水性层状云在进行人工增雨作业的同时进行了科研探测。该套系统是目前国际上大气探测领域中先进的探测系统之一。观测中同时使用 3 个探头:Fssp-100(前向散射粒子谱仪)量程为 0.5~47.0 μm, OAP-2D-C(二维光阵水滴谱探头)量程为 25.0~800.0 μm, OAP-2D-P(二维光阵雨滴谱探头)量程为 200.0~6 400.0 μm,可以测量大气中气溶胶、云滴、雨滴、冰晶以及雪晶的尺度谱分布。本文主要研究云中过冷水含量的分布,因此主要对 Fssp-100, OAP-2D-C 所取资料进行云中过冷水含量分析。在分析微观资料时,主要对低于 0℃的云中液态含水量(根据 OAP-2D-C 探头二维图像资料区分液态水和固态水)进行计算。计算时根据需要,按时间进行平均(按每分钟平均)或按高度平均(按每 100 m 平均),这样可计算出整个云层的过冷水含量的分布情况。

2001~2002年分别取得 19 和 8 架次微观资料。在飞行过程中,由于各种原因会造成取样的完整性、配套性较差,因此,可用来分析、比较完整的资料 2001 年为 9 架次,2001 年为 4 架次,共 13 架次资料。

2 结果分析

2.1 不同云层配置的云中过冷水含量分布特征

2.1.1 通过分析 2001~2002 年的宏观资料,我们发现吉林

省 5~7 月的降水性层状云主要可分为 3 种类型:雨层云,蔽光高层云—层积云,透光高层云降水。它们的结构:一般 1 000 到低于 3 000 m 为层积云;3 000 到低于 6 000 m 为蔽光高层云;雨层云云底高度一般在 1 000 m,云顶一般低于 6 000 m,其云层最厚。蔽光高层云—层积云云层中间有夹层为分层结构。透光高层云高度与蔽光高层云相近,一般发生在系统的前部或尾部,因此云层较薄。

2.1.2 Fssp 和 OAP-2D-C 探头是按时间序列在云中取样的,因此,按时间进行平均(按每分钟平均)分别计算了 3 种云型的云中过冷水含量,计算结果如表 1。

表 1 不同云层中的过冷水含量

云型	飞行架次	过冷水含量/(g·m ⁻³)
Ns	2	0.273 7
Asop-Sc	6	0.169 3
Astra	5	0.105 4

从表 1 可以看出:垂直结构为雨层云降水的云层中其过冷水含量最大,为 0.273 7 g/m³;其次是蔽光高层云—层积云降水,其过冷水含量为 0.169 3 g/m³;过冷水含量最小的云层为透光高层云降水,其值为 0.105 4 g/m³。

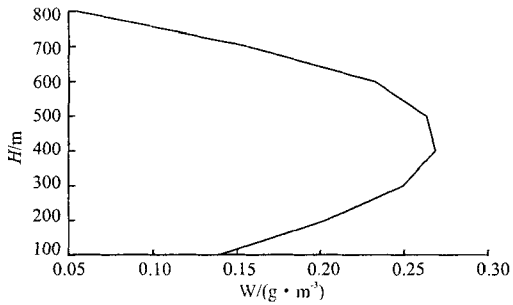
这种差异的产生与天气系统有关。当出现垂直结构为雨层云降水时,与之配合的天气系统一般来说范围大,冷暖空气活动比较活跃,暖湿空气较强,云层较厚,因此,云中过冷水含量大。蔽光高层云—层积云降水,因其天气系统范围较小,低层水汽输送较少,故整层云的含水量较小。透光高层云降水一般在系统的前部或尾部,刚刚进入吉林省或处于消散阶段,因此,云中过冷水含量最小。

2.2 云中过冷水含量距 0℃层高度的垂直分布

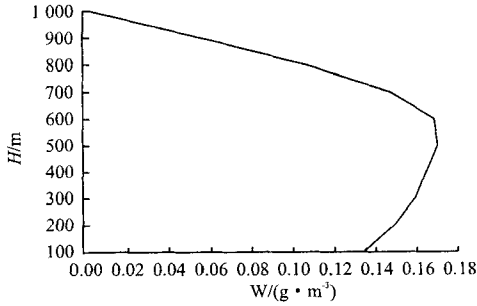
根据 PMS 所探测到的微观资料,我们计算了 3 种云型的云中过冷水含量距 0℃层高度的变化情况。为了便于对比分析,分别对 3 种云型的云中过冷水含量按距 0℃层高度每百米间隔进行计算。通过计算得到了 3 种云型云中过冷水含量距 0℃层高度的分布情况,经过 3 点平滑得到图 1。其中图 1(a)、(b)、(c)分别是雨层云降水、蔽光高层云—层积云降水、透光高层云降水 3 种云层中过冷水含量距 0℃层高度的分布(因吉林省所取探测资料一般是与抗旱相结合的,因此,本文分析的资料主要是作业层的资料,云顶资料较少)。

从图 1 中可以看出这 3 种云型的云中过冷水含量距 0℃

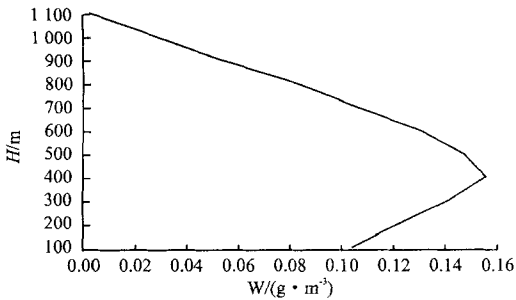
层高度的垂直分布较为一致,即在距0℃层高度以上100 m



(a)雨层云



(b)蔽光高层云—层积云



(c)透光高层云

图1 3种云型云中过冷水含量距0℃层高度的分布

处过冷水含量较小。随着距0℃层高度的增加,过冷水含量增大,雨层云降水、蔽光高层云—层积云降水中过冷水含量最大值出现在距0℃层高度以上600 m处,其最大值分别为0.296 3,0.170 5 g/m³;透光高层云降水出现在距0℃层高度以上400 m处,其值为0.155 5 g/m³;之后随着距0℃层高度的增加,云中过冷水含量迅速减小。

这种分布特征的产生与吉林省的天气结构有关。据吉林省历史探测资料统计^[2],在吉林省降水性层状云中,0℃层以上400~600 m处云中的上升气流速度最大,所托附的液滴最多,因此,在此高度范围内产生了过冷水含量大值区。

2.3 云中过冷水含量与云底高度、过冷层厚度的关系

本文对3种云型的13架次宏观资料进行了统计分析。对与过冷水含量有关的宏观因子(云底高度、过冷层厚度、0℃层高度、云厚、暖层厚度等)采用逐步回归的方法进行统计^[3],计算结果如下:

$$w = -0.38 - 0.98x_1 + 1.26x_2 \quad (1)$$

$$R_{\text{复}} = 0.88 \quad F(2, 10) = 17.52 \quad R_1 = -0.68 \quad R_2 = 0.88$$

查数理统计表 $F_{0.01}(2, 10) = 7.56$ 。由于 $F(2, 10) > F_{0.01}(2, 10)$,所以逐步回归方程(1)显著,其中 R_1, R_2 分别为过冷水含

量与云底高度、过冷层厚度的相关系数, w 为云中过冷水含量, x_1 为云底高度, x_2 为过冷层厚度。从式(1)可以看出:云中过冷水含量主要与云底高度和云的过冷层厚度有关;从计算出的相关系数可以看出:吉林省降水性层状云中过冷水含量与云底高度是负相关,即云底愈低,过冷水含量愈大,反之亦然;与过冷层厚度为正相关,即过冷层愈厚,过冷水含量愈大,反之亦然。

3 人工增雨可播度和人工增雨潜力分析

3.1 人工增雨可播度

由 FSSP-100 和 OAP-2D-C 探头所探测到的微观资料,分别计算了每1架次2个探头的总粒子浓度(表2)。根

表2 OAP-2D-C和FSSP-100所测粒子浓度数

日期	N_2/L^{-1}	N_1/cm^{-3}
2002-06-03	42	26
2002-06-05	52	52
2002-06-07	24	36
2002-07-11	18	10
2001-05-02	88	32
2001-05-10 ₂	28	24
2001-05-10 ₃	16	23
2001-05-15	83	5
2001-05-24	56	63
2001-06-08	84	63
2001-06-11	29	54
2001-06-16	112	35
2001-06-17	65	33
2001-06-30	66	21

注:日期下角数据为探测次数。

据中国气象局《人工影响天气岗位培训教材》给出的北方层状冷云人工增雨可播度判别指标^[4],由表2可以算出吉林省层状冷云人工增雨可播度为86%,即吉林省5~7月86%的层状冷云是可播的。

3.2 人工增雨潜力

从云雾物理角度出发,对层状冷云来说,在负温度区一定范围内有一定量的过冷水存在,而且还存在一段时间,我们就认为有一定的催化潜力,并将此区称为人工催化潜力区^[5]。按照 PER^[6];定义降水潜力为:

$$\eta = k_1/k \quad (2)$$

式(2)中 k 为在负温度区总飞行时间, k_1 为在负温度区飞行过程中,过冷水含量大于0.1 g/m³的飞行时间。针对这3种云型,分别计算出每1架次中过冷水含量大于0.1 g/m³的飞行时间,再计算出在负温度区的飞行总时间,这样就可分别求出3种云型的人工增雨潜力(表3)。

表3 3种云型的人工增雨潜力

云型	飞行架次	人工增雨潜力/(%)
Ns	2	41.3
Asop-Sc	6	28.4
Astra	5	26.6

从表3可以看出:在吉林省降水性层状云中,雨层云的人工增雨催化潜力最大,为41.3%;其次是蔽光高层云—层积云降水,为28.4%;人工增雨潜力最小的云型为透光高层云,为26.6%。

(下转第36页)

4 结论

利用获取的探测资料研究吉林省层状云中过冷水含量的分布,对于寻找人工增雨潜力区,指导人工增雨外场作业具有重要意义。结论如下。

4.1 吉林省的降水性层状云主要分为 3 种云型:雨层云、蔽光高层云一层积云、透光高层云。其中雨层云降水的过冷水含量最大,为 0.2737 g/m^3 ;蔽光高层云一层积云降水次之,为 0.1693 g/m^3 ;透光高层云降水最小,为 0.1054 g/m^3 。

4.2 3 种云型的过冷水含量与云底高度成负相关,与过冷层厚度成正相关,即:云底高度愈低,过冷层愈厚,其过冷水含量愈大;反之亦然。

4.3 3 种云型的过冷水含量距 0°C 层的高度分布一致,即:在距 0°C 层高度以上 100 m 处过冷水含量较小;随着距 0°C 层高度的增加,过冷水含量增大,雨层云、蔽光高层云一层积云降水过冷水含量最大值出现在距 0°C 层高度以上 600 m 处,其最大值分别为 0.2963 , 0.1705 g/m^3 ;透光高层云降水过冷水含量最大值出现在距 0°C 层高度以上 400 m 处,其值为 0.1555 g/m^3 ;之后随着距 0°C 层高度的增加,云中过冷水

含量迅速减小。

4.4 计算表明:吉林省降水性层状云人工增雨可播度为 86% 。

4.5 3 种云型的人工增雨潜力不同:雨层云最大,为 41.3% ;蔽光高层云一层积云降水次之,为 28.4% ;透光高层云最小,为 26.6% 。

参考文献

- 1 李大山. 人工影响天气现状与展望. 北京:气象出版社, 2002.
- 2 汪学林. 暖锋雨系的飞机探测及其人工影响问题研究. 北京:中国科学技术出版社, 1987.
- 3 汪学林, 刘健. 吉林省 1980~1987 年播云降雨的效果检验及其判据. 应用气象学报, 1992, 3(12).
- 4 中国气象局. 人工影响天气岗位培训教材. 北京:气象出版社, 2003.
- 5 汪学林, 金德镇, 李永振. 蒙古气旋的天气云雨特征及其人工影响潜力. 北京:中国科学技术出版社, 1987.
- 6 P. V. Hobbs. "Precipitation efficiencies and Potention for artificially Extratropical Cyclones" "Reference VIII International Cloud Physics Conference", 1982.