2005年北京消云试验微物理检验

黄梦宇[1,3] 张 蔷[1] 魏 强[2] 马新成[1]
邓兆泽[3] 张 磊[1] 刘力威[1]

(1. 北京市人工影响天气办公室,100089;2. 北京应用气象研究所;
3. 北京大学物理学院大气科学系)

提 要:利用机载PMS(Particle Measurement System)粒子探测系统获得的云微观特征和宏观观测分析了2005年北京消云试验的效果。比较2005年9月12日上午消云作业前后云滴数浓度、粒子有效直径和云滴谱分布的变化发现,在暖云中播撒吸湿性高浓度粒子群能够产生一定的消云效果。作业后云微物理结构的垂直分布发生较大变化,云滴数浓度和粒子有效直径均变小,并且在作业高度下方出现一个"干层";吸湿性物质促使云滴发生碰并过程,使得大云滴消失小云滴变少;作业半小时后垂直方向影响范围小于900m。此外,在9月13日下午的消云试验中观测到消云作业产生的一条明显云沟。

关键词:人工消云 飞机探测 PMS粒子探测系统 云微物理

引 言

为满足北京2008年奥运会人工消云、消雨气象保障服务需要,北京市人工影响天气办公室在2005—2007年近三年的时间里进行了一系列消云、减雨的外场试验,主要包括2005年5月到6月、2005年9月、2006年8月以及2007年8月的飞机消云、减雨试验。

在2005年6月、9月以及2006年的8月利用夏延ⅢA、安26、运五飞机进行了针对暖区淡积云、碎积云、高积云进行了播撒吸湿性高浓度粒子群,对冷区的高积云实施了过量播撒碘化银的消云试验;通过这些外场试验为奥运会人工消云减雨作业方案的制定提供了科学依据。

在暖云中人工引入适量吸湿性物质,用以影响云中滴谱分布变宽,破坏云中胶体稳定状态,促使云滴碰并过程加速,产生较大云滴,降落出云外,致使云层减弱或消散[1]。

飞机消云试验主要是首先利用探测飞机对作业云体进行探测,得出云体的一些宏微观特性后,再利用播撒飞机根据作业云体性质选择不同的催化剂对目标云进行催化,作业云的对象主要是淡积云、层积云以及高积云等。作业效果则通过探测飞机对目标云的宏微观探测以及地面观测人员的宏观观测来评定。

机载PMS(Particle Measurement System)粒子探测系统的云观测资料分析是研究云微物理特征和大气气溶胶与云相互作用的重要手段。通过飞机观测能够直接得到云微观特征量(数浓度、平均直径、液态含水量、云滴

北京市优秀人才培养项目"北京地区大气气溶胶与云凝结核的初步观测分析研究"(20071D020800058),"十一五"国家科技支撑计划重点项目"人工影响天气关键技术及装备研发"(2006BAC12B00),国家重点基础研究发展计划973计划课题项目"中国大气气溶胶及其气候效应的研究"(2006CB403701)资助

尺度分布等)以及它们的时间和空间变化。该资料可供云微物理特征的研究,并初步检验人工消云作业的效果。

本文利用机载 PMS(Particle Measurement System)粒子探测系统获得的云微观特征和宏观观测对 2005 年 9 月平谷消云试验中播撒吸湿性物质消云效果进行分析。

1 数据及其处理

北京市人工影响天气办公室所用的夏延 IIIA 飞机上装有 PMS、GPS (Global Position System)、温度、露点、空速等探头。PMS 主要包括 PCASP-100X (Passive Cavity Aerosol Spectrometer Probe),用来测量 0.10 ~ 3.00μm 的气溶胶粒子;FSSP (forward scattering spectrometer probes),用来测量 2 ~ 32μm 内的云滴,采样间隔 2μm;两个灰度图像探头,分别用来测量云粒子和雨滴的二维图像[2]。所有设备都是每秒一个记录。通过机载 PMS 粒子探测系统等设备,取得了消云试验中的云物理资料。本文主要是用了 FSSP 以及温度数据对消云作业效果进行分析。

关于云区的定义有不同的方法,如 Yum[3] 采用粒子总数浓度大于 1 个/cm^3 为阈值确定云区;Hobbs[4-5] 则提出,当利用 FSSP-100 探头观测到云中大于 2μm 的粒子总浓度超过 10 个/cm^3 时,看作是云水区。本文在处理云资料时只采用了 FSSP-100 探头在量程 2 ~ 32μm 探测的数据,并且以含水量 > $10^{-4}g/m^3$ 且粒子总数浓度大于 10 个/cm^3 为阈值同时结合飞行宏观记录确定云区。

通过取平均值来获得云微物理的分布特征。垂直方向上每间隔 100m 做平均得到云的垂直结构,对同一高度的云滴谱取平均得到特定高度的云滴谱分布特征。

本文选取 2005 年 9 月 12 日和 13 日两次消云试验飞机探测宏微观资料对消云效果进行分析。

2 2005 年 9 月 12 日上午消云试验

2.1 飞行作业概况

北京市人工影响天气办公室 2005 年 9 月以北京东北部地区平谷(40°12′N、117°15′E)附近为试验区进行飞机消云试验。使用夏延飞机作为探测飞机,An26 飞机为消云播撒作业飞机。2005 年 9 月 12 日地面为高压,高空受到副高后部西南气流控制。上午 9 时地面观测到高积云,云底高度为 2753m 云量为 9,地面未出现降水。从卫星云图可知[6]云系自西向东移动,12 日上午处于云系的前部区域。

12 日上午 10:00 夏延飞机起飞对作业区内云系进行播撒作业前云微物理探测。10:25—11:00 探测飞机到达作业区后从云顶开始从上往下每间隔 300m 对云体进行垂直探测。探测结束后夏延飞机爬升到云顶进行作业效果宏观监测。11:00 播撒作业飞机 An26 抵达作业区进行吸湿性高浓度粒子群的消云播撒作业,飞机共携带 1200kg 催化剂。11:01—11:04 作业飞机在 4200m 高度播撒 200kg 催化剂,而后 11:05—11:25 在 3900m 高度播撒 1000kg 吸湿性催化剂。作业飞行以地面观测点(40°12′N、117°15′E)为中心南北方向飞行,作业距离南北长 20km。An26 作业结束后,夏延飞机在消云作业下风区域自上而下进行消云效果检验的微物理探测。

图 1(见彩图第 25 页)给出探测和作业飞机的飞行轨迹。其中红色为 An26 飞机进行消云播撒作业的轨迹,蓝色线为夏延飞机在作业前的探测飞行轨迹,绿色为作业后的飞行轨迹。消云作业前夏延飞机对整个作业区都进行了垂直探测,作业后的探测飞行区域集中在播撒作业飞行的影响区域。从云顶对作业区域内云的观测如图 2(见彩图第 25 页)所示,作业云层为均匀平坦的层状云。图 2 是在 5100m 高度从夏延飞机上拍摄的,

时间为11:10,此时An26飞机正在进行播撒作业。

2.2 作业前后微物理探测分析

作业前云系微观特征垂直分布显示(图3a,见彩图第25页),作业前云顶高度为4200m,云底高度为2700m。云顶温度为1.7℃,说明作业云系为暖性层状云。云滴数浓度垂直分布可知云中存在一个云滴相对稀薄的区域高度在3500m附近,云滴浓度小于10个/cm^3。在云顶附近出现一个云滴浓度峰值接近200个/cm^3,同时云滴有效直径也达到最大为11μm。高度3000m附近云滴浓度为整层云中最大值222个/cm^3,云滴尺度相对较小为8.2μm。积分液态含水量在云中较小主要在0.02~0.03 g/m^3。总的来说作业前高积云有双层结构,但是两层分界不是很明显。

An26飞机分别在4200m和3900m播撒作业后,夏延飞机从云顶开始再次探测云中微物理特征的变化。图3b(见彩图第25页)给出作业后的云内各参数随高度变化情况。从图中可以看到云滴数浓度和有效直径有明显变化,在上层云中4000m高度云滴浓度由200个/cm^3减少到120个/cm^3,云滴尺度由11μm减小到6.7μm,4000m高度附近积分液态含水量在作业后也减少到0.01 g/m^3。从图中可看到作业后云体出现明显的双层结构,从3400~4000m之间出现一层600m厚度的云滴浓度小于10个/cm^3的"干层"。在低层云中云滴数浓度略微增加,最大数浓度达到240个/cm^3,云滴尺度没有明显变化,云底高度略微降低为2500m。在同一高度上前后两次探测间隔约一个小时,作业后的探测结束在整个消云作业结束后半个小时内完成。从前后两次探测对比可见,底层云体变化不大,但是作业高度4200m和3900m以下云滴有明显的减少变小。下面将对云滴谱分布进行分析比较,详细分析是那些云滴在作业前后发生变化。

2.3 作业前后云滴谱分布对比分析

图4(见彩图第25页)给出作业前、后从4200~2700m间隔300m高度云滴谱分布的变化情况,图中黑色为作业前云滴谱分布,红色为作业后情况。比较作业前后可发现在播撒作业高度4200、3900m以下云滴谱作业前后有明显变化,大云滴消失小云滴变少。从4200m和3900m两个高度的云滴谱变化可知作业后直径大于15μm的大云滴粒子变少甚至消失,如4200m高度上大于15μm的云滴数浓度密度减少了两个数量级;而在3900m高度上前后云滴谱的差异更为明显。最显著的变化在3600m高度,在此高度上作业后直径大于10μm的云滴已经消失,小云滴也明显变少整个云滴数浓度已经小于10个/cm^3,这与垂直分布显示的情况相对应。从上述三个高度的变化看,除了大于15μm的大云滴减少外,5~10μm的云滴也变少了,而小于5μm的云滴减少较少。在3300m以下整个作业前后的云滴谱分布没有较大的差异,只有在3300m时大于20μm的云滴作业后有略微减少和3000m高度上作业后的云滴变少但是谱型保持一致,前后云滴数浓度密度变化在一个数量级内。

通过对云滴谱分布的比较分析可知作业半小时后垂直方向影响厚度小于900m,播撒吸湿性高浓度粒子群后对于云内大于15μm的大云滴有较明显的清除作用。这可能是由于催化剂播撒后由于重力作用下沉与大云滴相碰并使得大云滴掉落出云外,同时吸湿作用使得小云滴蒸发变少。随着高度的下降催化剂扩散的范围增大,空间浓度变低影响能力变小。从微物理观测结果显示播撒吸湿性催化剂的消云作业只能影响一定厚度的云体,影响的范围与播撒剂量有一定的关系。

3 2005年9月13日消云试验

2005年9月13日地面为高压,高空受

到热带低压后部控制。地面观测到高积云，云底高度为3000m，15时地面出现降水。13日下午处于云系的后部，云系较弱并且已经产生过降水处于减弱阶段。图5（见彩图第26页）给出夏延探测飞行轨迹，15:43探测飞机起飞16:00到达试验区。随后进行作业前云探测，图6（见彩图第26页）给出探测结束后在4200m高度上云的宏观特征。An26飞机16:25抵达作业区开始播撒吸湿性催化剂，作业高度为3600m，共播撒了1800kg催化剂。17:25An26作业结束，播撒作业以地面观测点为中心南北播撒。

16:08—16:21夏延飞机对试验区内云系进行垂直探测，探测结果如图7（见彩图第26页）所示，云层较薄，云底高度为3200m云厚400m，云顶温度约为-0.6℃，云体主要在0℃以上为暖云。云顶附近存在一个逆温层。云滴数浓度在云中上部达到最大值为164个/cm^3，云粒子有效直径也同时为最大9μm。由于云层较薄，而且云系处于减弱阶段，An26作业结束后云层完全消散了未能进行作业后的微物理探测。

在An26作业期间，在4500m进行宏观监测的夏延飞机拍摄到了播撒作业留下的云沟。图8（见彩图第26页）为云沟的照片。从图中能够清楚的看到一条细而长的云沟线。播撒作业只在地面观测点上空南北方向进行，而飞行轨迹为类似于“跑道”的形状，当飞机即将为地面观测点上空的南北向飞行时开始作业，当飞机转向时结束作业，这就是产生直线云沟右侧另一条分叉弧度云沟的原因。拍摄照片时An26飞机正在3600m高度进行消云播撒作业。

4 小结

利用机载粒子探测系统对于消云作业前后云物理微观特征变化的探测，通过比较作业前后云滴数浓度、有效直径以及云滴谱分布的变化，分析2005年9月北京消云试验效果，结果显示：

在云中播撒吸湿性物质能够产生一定的消云效果；在9月13日下午的消云试验中观测到消云作业产生的一条明显云沟。对于2005年9月12日的消云试验分析可见，作业后云微物理结构的垂直分布发生较大变化，作业后云滴变少云滴直径变小，并且在作业高度下方出现一个“干层”。

对比作业前后的不同高度云滴谱分布发现在播撒作业高度下方能发现云滴谱作业前后有明显变化，大云滴消失小云滴变少。这可能是由于催化剂播撒后由于重力作用下沉与大云滴相碰并使得大云滴掉落出云外，同时吸湿作用使得小云滴蒸发变少。

从微物理观测结果显示播撒吸湿性催化剂的消云作业只能影响一定厚度的云体，影响的范围与播撒剂量有一定的关系。作业半小时后垂直方向影响范围小于900m。这对于消云减雨作业实施方案的制定有重要的参考意义。

参考文献

[1] 张蔷，郭恩铭. 层状云宏微观物理结构分析与人工影响降水研究[M]. 北京：气象出版社，2006：107-122.

[2] 魏强，高建春，钱越英. 机载粒子测量系统及资料处理[J]. 气象，1997，23(5)：37-40.

[3] Yum S. S.，Hudson J G. Maritime/continental microphysical contrasts in stratus[J]. TELLUS SERIES B-CHEMICAL AND PHYSICAL METEOROLOGY，2002，54(1)：61-73.

[4] 陶数旺，刘卫国，李念童. 层状冷云人工增雨可播性实时识别技术研究[J]. 应用气象学报，2001. 12(s1)：14-22.

[5] 游来光. 利用粒子测量系统研究云物理过程和人工增雨条件[C]. //游景炎，段英，游来光. 云降水物理和人工增雨技术研究. 北京：气象出版社，1994：236-249.

[6] 宛霞，消云减雨试验中的卫星资料应用[J]. 气象. 2008增刊.