

辽宁层状云微物理结构的水平变化特征

谢松元¹ 杨扬² 杨军³

(1. 潮州市气象局, 广东 潮州 521021; 2. 锦州市气象局, 辽宁 锦州 121000;
3. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044)

摘要:根据1997年在辽宁利用机载粒子测量系统(PMS)获取的探测资料,探讨了层状云中云滴谱、粒子数浓度在水平方向上的分布变化,并分析了温度、粒子含水量在水平方向上的变化特征。研究表明:云滴数浓度和云滴半径在水平方向上存在着较强的起伏性变化;层状云中温度在水平方向上总体变化不大;云中的云滴谱结构在水平方向上的起伏较大,存在3种变化规律;云中含水量在水平方向上的变化大,且与粒子数浓度存在正相关。

关键词:层状云;微物理结构;水平特征

中图分类号:P401 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-503X(2008)01-0005-04

1 引言

随着经济发展和社会进步,资源紧缺的问题日益突出,人工增雨已成为开发利用空中水资源的有效途径。为提高人工增雨作业的科学性和有效性,有必要研究与人工增雨作业直接相关的云和降水问题。机载粒子测量系统PMS(Particle Measuring System)是自20世纪70年代后期始在世界各地逐步广泛采用的云微观物理观测仪器。中国气象科学研究院人工影响天气研究中心于1981年引进这一系统,并逐步运用在一些省份的外场试验中,取得了很有研究价值的云物理资料^[1]。运用PMS可对云和降水粒子数量和尺度进行连续观测,根据探测结果可对云的宏微观物理结构进行比较详尽的探测和分析^[2]。

我国对云滴谱的研究起步于20世纪60年代初对野外进行云滴粒子观测^[3-4]。宫福久等^[5]对沈阳的降水雨滴谱进行分类研究表明,层状云雨滴谱分布窄,最大雨滴直径约3 mm,呈指数分布,雨滴浓度量级差为 $10^2/\text{m}^2$ 。李淑日等^[6]分析了河南2004年4月一次冷锋降水过程表明,云中粒子浓度和含水量水平分布具有明显的空间不均匀性,但有较好的相关性。

杨军等^[7]利用1996年和1997年春夏季在辽宁省观测得到的10 d 16架次共700多组0.1—32.0 μm 大气气溶胶粒子谱分布航测资料,研究了气溶胶粒子的水平、垂直分布特征及其与大气状态的关系。但是对云滴的水平分布没有进行深入的分析。本文在此基础上,利用1997年PMS观测资料,

进一步分析层状云微物理结构在水平方向上的分布特征,以达到优化人工增雨作业方案、提高人工增雨作业效果的目的。

2 资料与方法

2.1 资料来源

采用1997年5月14日在辽宁地区利用PMS系统测量的云滴粒子资料,数据由辽宁省人工影响天气办公室提供。

2.2 观测仪器

云滴粒子的测量主要使用美国PMS公司机载粒子探测设备FSSP-100(前向散射粒谱仪探头,英文名称为Forward Scattering Spectrometer Probe)。FSSP-100利用Mie散射原理测量云滴粒子或气溶胶粒子的前向散射光强。FSSP-100的量程为2.0—32.0 μm 。FSSP-100的15个通道直径范围分别为:2.0—4.0、4.0—6.0、6.0—8.0、8.0—10.0、10.0—12.0、12.0—14.0、14.0—16.0、16.0—18.0、18.0—20.0、20.0—22.0、22.0—24.0、24.0—26.0、26.0—28.0、28.0—30.0 μm 和30.0—32.0 μm 。飞行中,同时测量温度、露点、液水含量和同步GPS飞行位置等数据。由于不同通道云滴粒子及气溶胶粒子数浓度存在量级上的差异,数据不稳定,故对各类参量均采用1 min平均值进行分析^[7]。

2.3 测量过程

1997年5月14日在辽宁地区利用PMS系统测量云滴粒子微物理结构时的飞机飞行情况见表1。当日下午有2次飞行:13:11—14:45,飞机从沈阳起飞到达新民,途径盘山、阜新和彰武;16:47—17:52

飞机从沈阳起飞,途经辽中、新民和法库,然后到达康平。在这 2 次飞行中,第 1 次飞行时间为 1 h

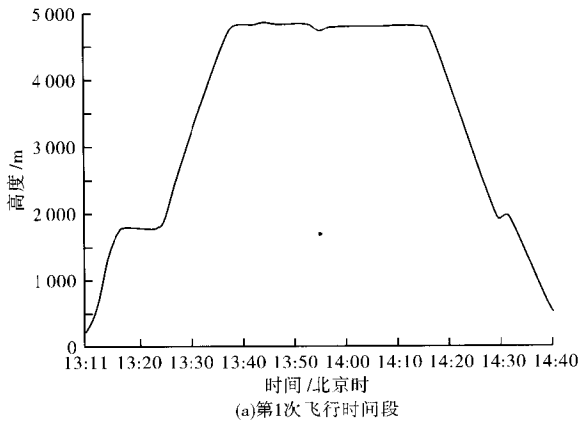
34 min,第 2 次飞行时间为 1 h 5 min,中间间隔 2 h,共取得样本数据为 161 个。

表 1 航测飞行高度和区域

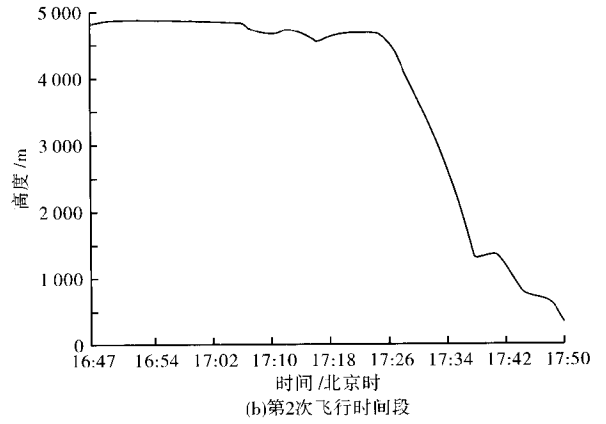
日期	时间	高度/m	飞行区域	样本数/个
1997-05-14	13:11—14:45	126.2—4909.1	沈阳、盘山、阜新、彰武、新民	95
1997-05-14	16:47—17:52	206.5—4885.3	沈阳、辽中、新民、法库、康平	66

图 1 给出了飞机飞行高度和时间。本文主要研究的是水平方向上的层状云微物理结构的变化特征,因此使用的只是 13:40—14:16 和 16:47—17:26 这 2 段时间内的资料。16:47—17:26 飞行高度不固

定,但相差不大,可忽略飞行高度差。图 2 和图 4 所用资料为 13:40—14:16。图 3 和图 5 采用 16:47—17:26 资料。水平方向上的距离均为利用飞机飞行的时间乘以飞机真空速度,也就是飞机在水平方向



(a)第1次飞行时间段



(b)第2次飞行时间段

图 1 飞机 2 次飞行的时间与高度的变化曲线

上运动的路程。

2.4 天气形势

1997 年 5 月 13 日地面图上,辽宁地区位于小低压边缘,由于受到后面内蒙古地区的另一个较强低压影响,这个小低压很快消失。5 月 14 日,内蒙古地区的低压中心已移至大兴安岭山脉,本区处在低压的右下部,云层为中云,以蔽光高层云或雨层云为主,低云为层云或碎层云。同时,5 月 14 日 500 hPa 高空图上,辽宁地区位于暖低压中心。在这种环流形势配置下,辽宁地区出现了一次较为明显的降雨过程。

3 微物理结构及水平特征

3.1 粒子半径与粒子数浓度的关系

图 2 为飞机在较为稳定的高度在水平方向上飞行时,通过 FSSP 测得的云滴粒子平均半径与粒子数浓度随水平距离的变化曲线。从图 2 可以看出,这次观测得到的云滴粒子半径相对较小,粒子半径均在 $2.90 \mu\text{m}$ 附近变化,最大值为 $4.48 \mu\text{m}$,最小值为 $1.72 \mu\text{m}$ 。分析发现,云滴粒子半径并不是较有系统、规律地发生变化,而是在某时段出现突然的起伏性变化,明显跳跃。相对来说,粒子数浓度的变化较大,粒子数浓度变化存在着 2 个量级差。最大为

1.15×10^7 个/ m^3 ,最小为 2.6×10^5 个/ m^3 。出现这样大的变化,其原因可能是因为在云中存在着不同相态的云,由于云中冰晶与过冷云滴间发生相态转化所致。

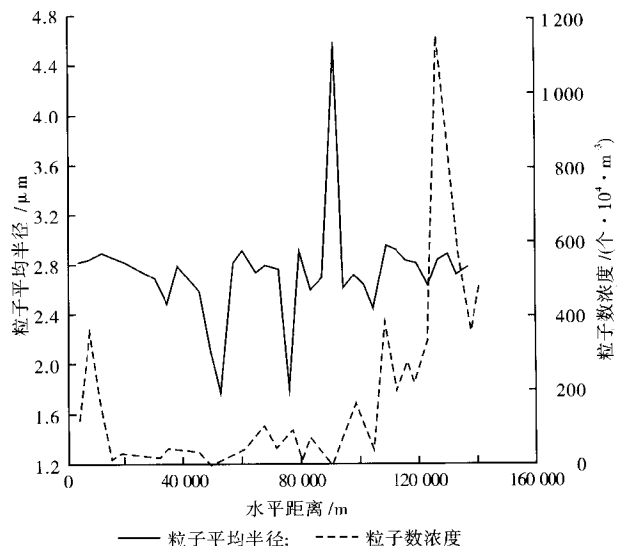


图 2 粒子半径和粒子数浓度在水平方向上的变化曲线

从以上分析可以看出,云滴粒子数浓度和粒子平均半径在水平方向上均存在着较强的起伏性变化,具有明显的空间分布不均匀性,说明云体在发展

的不同阶段、不同部位的物理量特征差别较大^[6,9]。

3.2 温度的水平变化

图 3 为云中温度在水平方向上的变化。从图 3

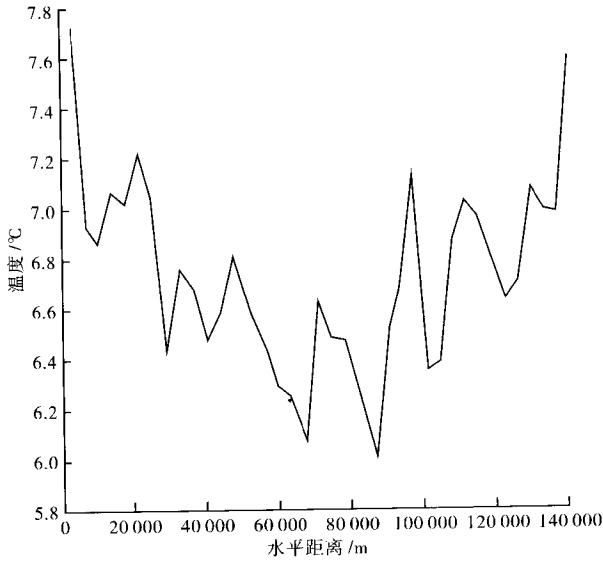


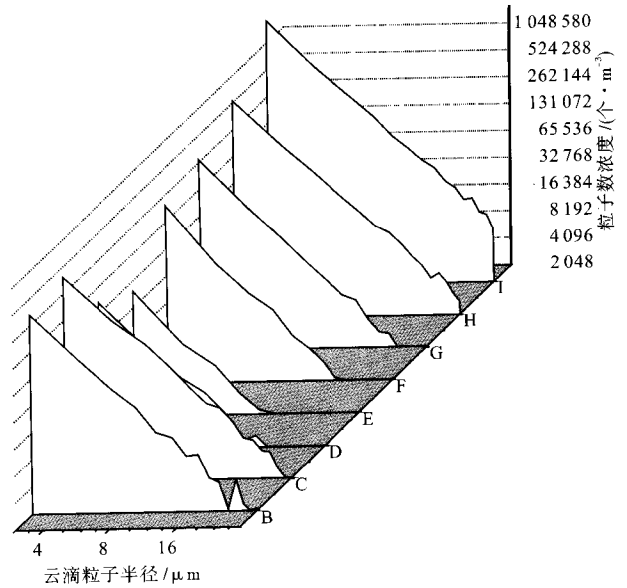
图 3 温度在水平方向上的变化曲线

可以看出,温度在水平方向上的总体变化不大,其中最高温度为 7.7 °C,最低温度仅为 5.5 °C。图 3 中的温度曲线并不是光滑曲线,而是不规则曲线,局部起伏性变化较大,存在明显的跳跃。云中的某一特征量在一定的范围内存在着差异,并不是十分均匀地有规律变化的。因此,宏观均匀的层状云在微观上表现出显著的不均匀特征。

3.3 云滴谱的水平变化

图 4 为云滴谱的水平变化。利用云滴谱随水平距离的演变可以判断云内的微物理变化。从图 4 可以看出,云滴谱在水平分布上存在以下规律:(1)云

滴粒子数浓度的水平分布很不均匀,有 5 个量级差别。在小云滴部分各个水平位置上的粒子数浓度均达到最大,这说明在本文观测的层状云中以小云滴粒子为主,而大云滴粒子较少。(2)在整个飞行过程中,云滴粒子的谱宽在水平方向上存在着不均匀性。水平距离前段和后段,云滴谱的谱宽均较大,但水平距离中段,云滴谱谱宽却相对较小。(3)在水平的位置上,粒子数浓度与云滴粒子半径间存在一定的关系。粒子数浓度在小云滴部分的变化率较大,存在明显的递减趋势,是较光滑曲线,而在大云滴部分粒子数浓度的变化率较小,并且存在多个峰值^[10-12]。



B—I为每隔 20 000 m 的水平距离

图 4 云滴谱在水平方向上的变化曲线

3.4 含水量的水平变化

图 5 为云中含水量和云滴粒子数浓度及半径在

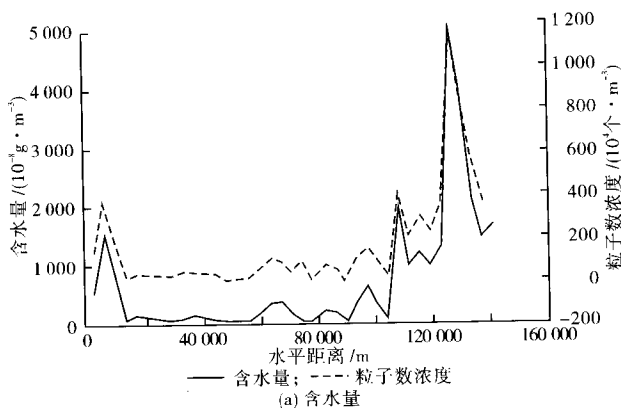
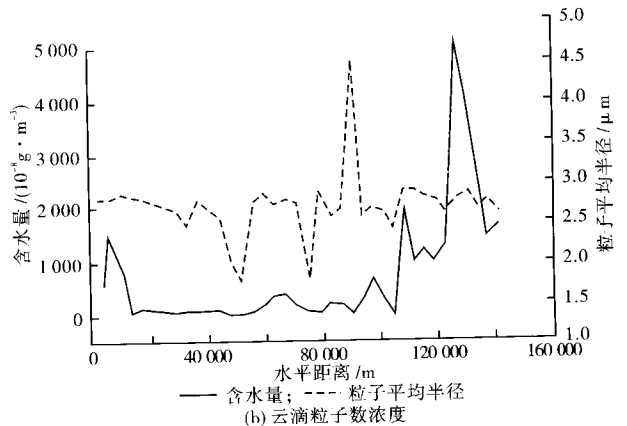


图 5 云中的含水量和云滴粒子数浓度及半径在水平方向上的变化曲线

水平方向上的变化。由图 5 可以看出,含水量在水平方向上的变化较大,最大值为 0.00504 g/m³。由图 5 还可以看出,粒子数浓度与含水量存在着较大的相关关系,相关系数为 0.99,主要是因为单位空间



体积中云滴粒子的总体积乘以液态水密度就是含水量,总体积又是由各粒子所组成,因此粒子数多,含水量则亦大。同时,各个粒子半径对含水量的影响也较大,平均半径与云滴含水量间的相关系数为

0.123,含水量在粒子半径较大时较高。综上分析可得出,粒子数浓度和粒子半径对云层含水量均存在着贡献,但是粒子数浓度对含水量的贡献较大^[4]。

4 结论

通过对 PMS 系统测量到的云滴粒子微物理结构数据资料分析,得出以下结论。

(1)云滴数浓度和云滴半径在不同水平方向上均存在较大的起伏性。

(2)云中温度在大水平尺度上变化不大,但在小局部水平尺度上的变化较大。

(3)云中云滴谱结构在水平方向上起伏性较大,云滴谱和云滴数浓度存在着 3 种分布规律。

(4)云中含水量在水平方向上的变化大,并且与粒子数浓度存在正相关。

(致谢:感谢南京信息工程大学杨军教授提供的观测资料与指导)

参考文献

- [1] 刘卫国,苏正军,王广河,等.新一代机载 PMS 粒子测量系统及应用[J].应用气象学报,2003,14(1):11-18.
- [2] 樊曙先.层状云微物理结构演变特征的个例研究[J].

- 宁夏大学学报,2000,21(2):179-182.
- [3] 王鹏飞,李子华.微观云物理学[M].北京:气象出版社,1989:169-186.
- [4] 游景炎,游来光.云降水物理和人工增雨技术研究[M].北京:气象出版社,1994:118-126.
- [5] 李大山.人工影响天气现状与展望[M].北京:气象出版社,2002:1-20.
- [6] 李淑日,王广河,刘卫国.降水性层状云微物理结构个例分析[J].气象,2001,27(11):17-21.
- [7] 杨军,宫福久,周德平,等.辽宁地区大气气溶胶粒子的垂直分布特征[J].南京气象学院学报,2000,23(2):196-203.
- [8] 苏正军,刘伟国.青海一次春季透雨降水过程的云物理结构分析[J].应用气象学报,2003,14(增刊):27-35.
- [9] 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[M]//云降水物理和人工增雨技术研究.北京:气象出版社,1994:83-88.
- [10] 张连云,冯桂利.降水性层状云的微物理特征及人工增雨催化条件的研究[J].气象,1997,23(5):3-7.
- [11] 刘健,于勇,蒋彤,等.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[J].辽宁气象,2004(4):31-32.
- [12] 王军,沙莉,张翊,等.辽宁飞机人工增雨天气系统及云系研究[J].辽宁气象,2000(4):33-35.

Horizontal characteristics of stratiform cloud microphysical structure in Liaoning province

XIE Song-yuan¹ YANG Yang² YANG Jun³

(1. Chaozhou Meteorological Bureau, Chaozhou 521021, China; 2. Jinzhou Meteorological Bureau, Jinzhou 121000, China; 3. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: In terms of the data of stratiform cloud microphysical structure from airborne particle measurement system (PMS) in 1997 in Liaoning province, the characteristics of cloud droplet spectrum, particle number concentration, temperature and water content of particle in the horizontal level were discussed. The results indicate that the number density and radius of cloud droplet in the horizontal level fluctuate strongly. Temperature changes little, while the spectrum structures of cloud droplet fluctuate strongly with three patterns. Water contents of stratiform cloud vary greatly, and have close positive relationship with particle number concentration.

Key words: Stratiform cloud; Microphysical structure; Horizontal characteristics