

王以琳 赵增亮

(山东省气象科学研究所, 济南 250031)

提 要

依据 1979—1988 年 4—6 月、9—10 月逐时降雨资料, 分析了影响山东的黄淮气旋天气、气候特征。认为在山东人工增雨作业中黄淮气旋是最适宜的天气系统。文中还分析了一次黄淮气旋的宏、微观特征, 得到了云滴粒子、降水粒子的水平和垂直分布。给出了云滴谱的拟合表达式。在这个黄淮气旋的北部, 云中过冷水含量最大值为 $0.16\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

关键词: 人工增雨 气旋 微物理

1 引 言

1989 年以来山东飞机人工增雨作业的实践证明, 选择好作业的天气系统, 了解降雨系统的宏、微观结构, 有利于提高作业的效果。将 1979—1988 年 4—6 月、9—10 月的 759 个降雨日分为 4 类 14 种天气形势。分析表明: 黄淮气旋是最适宜山东飞机人工增雨作业的天气系统。在增雨作业中使用机载 PMS 仪器, 对作业区云系微结构进行探测。经过分析, 初步得到黄淮气旋的宏、微观结构。

2 天气学分析

2.1 天气形势

黄淮气旋是南方气旋中位置最偏北的锋面气旋, 它产生在副热带锋区上, 在东移过程中经黄淮流域出海。按黄淮气旋形成过程, 可将其分为两类。

第一类气旋产生在江淮流域的静止锋或倒槽中, 这时 500hPa 副热带高压位置较偏北, 南支槽较深。700 或 850hPa 有西南低涡与之配合, 其切变线伸至江淮流域。由于南支槽东移和副高北抬, 副高西北部气压梯度加大, 出现西南低空急流。它推动 850hPa 上暖切变北抬, 正涡度下传, 破坏了地面静止锋两

边准平衡的切变气流。在静止锋上产生波动生成气旋。有时如地面有倒槽配合上空的西南涡, 正涡度中心下降, 在倒槽的顶部产生气旋性环流, 也能演变成气旋。

第二类气旋是 700 或 850hPa 层北槽南涡在东移过程中相结合时, 地面河西冷锋进入倒槽或低压与暖锋相接后产生的地面气旋。这类气旋首先在山东产生降雨的地区有两处, 如地面河西冷锋移动较快, 山东西部先出现降雨, 如倒槽北伸较早, 鲁南先有雨区。冷空气的介入和降雨后潜热释放使得第二类黄淮气旋发展。

2.2 降雨日出现的频数

在 129 个黄淮气旋降雨日中(见表 1), 6 月份最多达 43 个。其次是 5 月和 9 月。第一类气旋比第二类气旋多近 3 倍。黄淮气旋月频率在 1.9 天以上。

表 1 黄淮气旋出现的频数/天(1979—1988 年)

月份	第一类	第二类	月频数
4 月	18	1	1.9
5 月	24	2	2.6
6 月	23	20	4.3
9 月	19	3	2.2
10 月	12	7	1.9
合计	96	33	

2.3 降雨特征

黄淮气旋降雨总量占 14 种天气系统降雨总量的 42.2%。月平均雨日 2.58 天。全省 125 个测站中平均每个降雨日有 80.4 个测站降雨。降雨日平均每个测站降雨 12.54mm。降雨过程平均持续时间 32.7 小时,最长持续 82 小时。黄淮气旋是所有天气系统中降雨范围最广,平均降雨量最大,过程平均持续时间最长的天气系统。

在山东自鲁西南至胶东半岛依次取 8 个代表站,黄淮气旋在各站降雨时间比较均匀,平均在每站降雨时间为 12.71 小时,最长 13.8 小时(临沂),最短 11.7 小时(枣庄)。

由于黄淮气旋多自苏北出海和山东沂蒙山区及半岛丘陵的地形作用,使得来自气旋的偏东气流在山地的迎风坡产生较多的降雨量,而鲁西北平原受下山气流的影响和距气旋较远,降水较少(图略)。

2.4 降雨日的云状

分析黄淮气旋降雨时的云状可知,黄淮气旋降雨的云系多以层状云(As, Ns, St, Fn, Fs)和波状云(Sc, Ac)为主,这两类云在鲁西南和半岛可达降雨日数的 86.4% 和 86.2%。在鲁西北这两类云的降雨日最少,但也有 78.7%。在这两类云的降雨日中除鲁西北外,波状云的比例都大于层状云。由于这两类云内的垂直气流较积状云小得多,在飞机人工增雨作业中可选择它们作为播云的目标云。

2.5 云系的宏观特征

分析潍坊机场 10 年探空资料,以 $T - T_d \leq 4^\circ\text{C}$ 为准饱和层,70 个黄淮气旋降雨时的平均准饱和层厚度为 6054m,如此厚的准饱和层为降雨提供了很好的宏观环境场。根据机场云底高的观测,降雨时黄淮气旋的平均云底高为 624m,能满足作业时飞机的起降条件。

由于黄淮气旋与高层低涡或槽前辐合区对应,它的水汽辐合层很厚(图略),从地面到 300hPa 都有水汽辐合,850hPa 的辐合量达

到最大值,向上递减。黄淮气旋的水汽凝结率从 950hPa 向高层增加,约在 450hPa 达到最大值后又很快减小,与其它气旋或冷锋天气系统相比,黄淮气旋整层水汽辐和量和水汽凝结率都是最大的。

3 个例分析

3.1 宏观分析

1989 年 9 月 26 日山东出现了一次河西冷锋进入倒槽在山东生成黄淮气旋的降雨过程。26 日 08 时由 500hPa 图可知(图略)射阳、昆明至海口都在副高 588 线控制下。兰州有一个浅槽,华北受西南气流控制,850hPa 等压面上锡林浩特和成都两地两个小低压之间切变线相连,副高西北边缘的低空急流建立。地面河套东部有一条冷锋。江淮流域的倒槽伸向鲁南,冷锋和倒槽的雨区相连,由于冷锋移动较快,当它进入地面倒槽后,冷空气注入其中,倒槽加深,黄淮气旋生成于山东中部。

分析逐时雨量可知,这次过程在山东形成两条雨带,一条是由河西冷锋形成的雨带,位于鲁西北,它由 5、6 号雨团组成(见图 1)。一小时最大雨量出现在陵县,26 日 06 时为 12.0mm。另一条雨带是由倒槽及后生成的黄淮气旋形成,它由 1—4 号雨团组成,历时 28 小时,最大一小时雨量出现在青岛,26 日 23 时为 14.7mm。

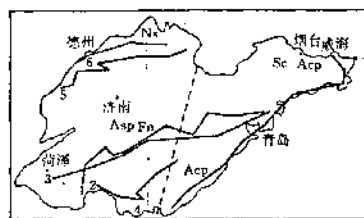


图 1 雨团(1—5 号)路线及云状分布
虚线为倒槽位置

图中还给出 26 日 08 时倒槽的位置,分析地面观测的云状可知倒槽前为蔽光高积云(Acop),倒槽后为蔽光高层云(Asop)、雨层

云(Ns)或碎雨云(Fn)。气旋形成后,暖锋前以Acop和Sc为主,冷锋后以Asop和Fn为主。冷锋前的暖区则以Acop、Asop和Fn为主。飞机人工增雨作业宜在Asop、Sc和Ns云中播云。

在射阳—呼和浩特的垂直剖面图上(图略),冷锋坡度较缓,锋前800—450hPa之间有对流不稳定区,锋前上升区可达700hPa高度。降雨后潜热释放和低空西南急流的加强,使得锋前高空的饱和层上升,为播云提供了更好的环境条件。

3.2 微观特征

3.2.1 云滴的水平分布

飞机自潍坊机场出航,在机场上空盘旋作垂直探测,平飞高度在4300—4800m之间。用FSSP探头测得的直径在2—47 μm 之间云粒子的浓度及液水含量见图2。云滴粒子浓度 N_c 、云水含量LWC起伏较大, N_c 最大值:162个 $\cdot\text{cm}^{-3}$,LWC最大值:0.16g $\cdot\text{m}^{-3}$ 。 N_c 、LWC的突起可能是高层云中嵌有对流泡造成的,参照其它一些研究,将FSSP粒子浓度(直径 $>2\mu\text{m}$)大于10个 $\cdot\text{cm}^{-3}$ 的云水粗略认为是液水^[1],从 N_c 、LWC空间分布图并结合垂直剖面图看,锋前暖区内有过冷水存在,具有冷云人工催化的条件。

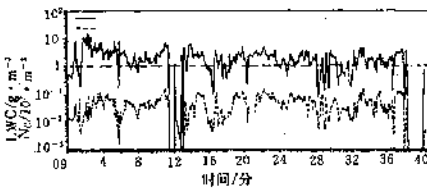


图2 云滴浓度 N_c 和云水含量LWC的空间分布

实线为 N_c ,单位:10⁷个 $\cdot\text{m}^{-3}$;虚线为LWC,单位:g $\cdot\text{m}^{-3}$

3.2.2 雪晶的特征

云带中最大雪粒子浓度为3776个 $\cdot\text{m}^{-3}$ 。从雪晶粒子二维图象上看,雪晶形状主要为针状、柱状、星状以及攀附在一起的雪

团。根据云带中雪粒子的水平分布情况,将浓度按0—500、500—3000、3000—4000个 $\cdot\text{m}^{-3}$,分为I、II、III三种类型,按 $\frac{dN}{dD} = N_0 \exp(-AD)$ 拟合,结果见表2。可见雪晶的谱分布可较好地用指数关系拟合,III的结果稍差一些,但是对于直径小于4000 μm 的粒子,相关较好,相关系数达到0.955。

表2 雪晶谱拟合结果

	$N_0/\text{个} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \mu\text{m}^{-1}$	$A/\mu\text{m}^{-1}$	相关系数r
I	0.321	0.00278	0.932
II	1.593	-0.00168	0.976
III	2.121	-0.00122	0.863

3.2.3 N_c 、LWC的垂直分布

本次过程降水云系为多层结构(见图3),云的主体由两层组成。3900—4200m处为一干层,其层结稳定。在3000m、1600m高度处各有一个300m、160mm厚较干的层,飞机在4800m高度穿云时,温度为-5.6 $^{\circ}\text{C}$,飞机未达云顶。除1800m处, N_c 与LWC对应很好,呈正相关。 N_c 的最大值在云的中下部为:123个 $\cdot\text{cm}^{-3}$ 。最大含水量值0.11g $\cdot\text{m}^{-3}$,出现在干区下面,温度是-0.8 $^{\circ}\text{C}$,这可能是冰粒子按液滴计算高估了含水量值造成的^[2]。

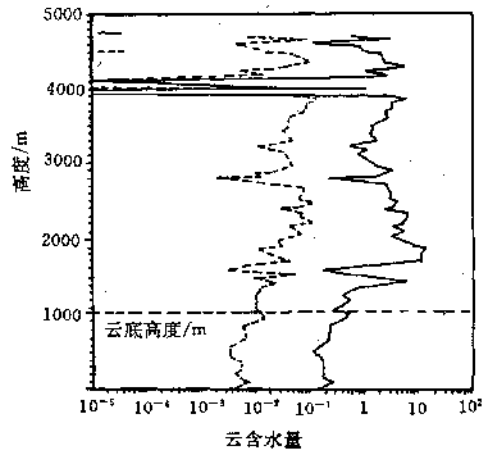


图3 云滴浓度和云含水量垂直分布
说明同图2

3.2.4 降水粒子谱随高度的分布

分布特征见图4。到+3℃层固态水已全部转化为液态水了,该层的雨滴谱是通过冰晶凝华、淞附、攀附增长而形成的最终结果,也是通过在暖层的碰并过程而进一步增长的初始谱。从3200m(+3.0℃)往下二个谱已都是雨滴谱了,上面3个为雪晶谱,无论是雪晶还是雨滴随着高度下降通过淞附、攀附及碰并不断增大,造成谱宽增加,大粒子增多。

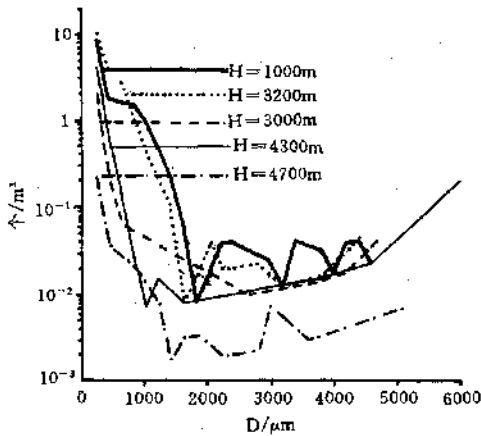


图4 不同高度上降水粒子谱

3.2.5 云滴谱函数

根据 A. Kh. Khrgian 和 I. P. Mazin (1963) 得到的结果可用下式表示云滴谱: $N(D) = N_0 D^2 e^{-\Lambda D}$, 式中, N 为单位体积单位直径间隔的云滴个数, D 为直径, N_0 、 Λ 为系数。采用最小二乘法拟合求 N_0 、 Λ 的值:

$$\ln(N(D)) - 2\ln D = \ln N_0 - \Lambda D$$

将其用于垂直分布的6个谱,结果见表3。由

表可见,拟合谱与实际谱在冷云区相关好,在暖云区稍差,这主要因为暖云区的谱在20μm左右有峰值或变化比较平缓,与K-M谱的单峰性差异造成的。

表3 云滴谱拟合结果

高度/m	$N_0/\text{个} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \mu\text{m}^{-3}$	$\Lambda/\mu\text{m}^{-1}$	相关系数 r
1000	1.24×10^5	0.285	0.969
2000	1.97×10^5	0.273	0.974
3000	7.98×10^4	0.252	0.954
3660	2.04×10^5	0.269	0.972
4200	1.13×10^5	0.344	0.988
4700	1.57×10^5	0.306	0.993

4 小 结

4.1 黄淮气旋可分为两类,第一类降雨日比第二类降雨日多近3倍。黄淮气旋具有自然降雨量大,降雨范围广,降雨维持时间长等特点,是飞机人工增雨作业最佳的天气系统。

4.2 黄淮气旋降雨时约有86%的云状为层状云或波状云,它们是飞机人工增雨作业的目标云。

4.3 此个例降水云系为多层结构,锋前暖区内过冷水含量丰富,具有冷云催化的条件。

4.4 雪晶谱可较好地用指数关系拟合;云滴谱用K-M的谱拟合,对于在20μm附近有第二峰值或变化平缓的谱不适用,在该个例中对冷云区的谱比较合适。

参考文献

- 游来光. 利用粒子测量系统(PMS)研究云物理过程和人工增雨条件. 中国气象局人工影响天气办公室, 1993, 10, 23, P13.
- 王广河、游来光. 乌鲁木齐冬季冷锋云带和锋下层积云的微物理结构及其降雪特征. 气象, 1989年, 15(3).

Huang-Huai Cyclone and Artificial Precipitation in Shandong

Wang Yilin Zhao Zengliang

(Shandong Institute of Meteorological Sciences, Jinan, 250031)

Abstract

The synoptic and climatic features of huang-huai cyclones from 1979 to 1988 are analysed. It is concluded that huang-huai cyclone is the suitable synoptic system for aircraft precipitation stimulation. A case analysis about the macroscopic and microphysical property was made. The super-cooled water content is $0.16 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$.

Key Words: aircraft precipitation cyclone microphysical