

回流天气系统层状云的非均匀性

杨文霞¹ 牛生杰² 魏俊国³ 孙玉稳¹

(1 河北省气象局人工影响天气办公室, 石家庄 050021; 2 南京信息工程大学中美合作遥感中心, 南京 210044; 3 河北省气象台, 石家庄 050021)

摘要 利用一次回流天气过程的 PMS 资料, 从微物理结构上对回流天气系统层状云的不均匀性进行了分析, 发现飞机在进入较强降水云带时, 云物理量(液水含量、云滴浓度、云滴平均直径、温度)等会产生剧烈变化, 表现为液水含量跃增、云滴浓度快速增大、云滴谱谱宽拓宽、温度下降等, 在同一较强云带中, 温度变化不大并且比周围低, 较强降水云带冰晶含量丰富, 自然催化较好。

关键词 回流天气系统 层状云 不均匀性

引言

回流天气具有河北省地方特色, 它具有中 α 尺度的高空暖锋层状云稳定性降水特征, 云层发展得很厚, 一般分成几层, 主要由层积云和高层云组成, 降水微物理过程基本符合 Bergeron 提出的催化云-供水云相互作用导致降水的总体概念。供水云为锋下回流层积云或锋上高层云下部; 催化云为锋上中、高空云带。同时, 通过加密观测发现, 在高空暖锋云带里伴有中 β 尺度雨带, 降水强度有阵性变化。

1 天气过程和飞机探测仪器

华北回流天气过程一般是指冷锋东移到长白山后, 冷空气折向南、西南, 经渤海湾侵入华北平原, 在华北平原出现东北大风和降水, 虽然地面冷锋已远离华北, 但是华北仍持续阴雨。在地面气压场上, 华北平原为高压, 黄土高原为倒槽, 这种降水过程亦称为“倒槽降水”“高压后部降水”或“回流降水”^[1]。

1991 年 5 月 23 日 20:00, 酒泉北侧 700 hPa 有一个西风带高压叠加在副高上, 此高压迅速向东至东北方向移动, 25 日 08:00 到达哈尔滨西部。地面冷锋沿 40°N 快速东移, 24 日 02:00 侵入东北到华北北部; 24 日 08:00 冷锋遇长白山后, 冷空气折向

南、西南, 涌入渤海湾、华北平原; 24 日 14:00 以后移出华北平原, 继续南下。1991 年 5 月 25 日对层状云的取样是在上述西风带高压和副高叠加过程中, 即在西南涡前部的暖切变上进行的(图略)。本研究采用 PMS 的 FSSP、2DC 和 2DP 探头进行探测。

2 回流云系垂直结构

图 1 为 1991 年 5 月 25 日飞机上升阶段 FSSP 测定的回流云系微物理参数垂直分布。当时云系主要由近地层云、层积云和高层云组成, 距地面 100 m 高度有约 200 m 厚的浅薄低云。09:56~10:49 飞机在约 4000 m 高度上平飞, 位于高层云的冷云中。

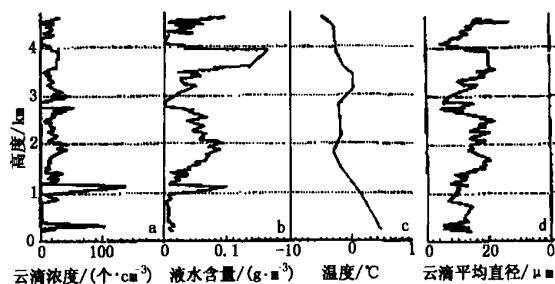


图 1 1991 年 5 月 25 日机载 FSSP 测定的微物理参数垂直分布(上升阶段)

3 回流天气系统层状云的非均匀性

图 2 给出了 1991 年 5 月 25 日飞机平飞时 FSSP 测定的云物理量时间序列图,液态水含量 (LWC) 先后出现 2 次大幅度跃增。

液水含量第 1 个跃增出现在 09:58:34 ~ 09:58:49,由 0.0231 g/m^3 连续增大到 $0.1139 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$,之后缓慢下降;与此相对应,09:58:19 ~ 09:58:49,云滴浓度从 $0.714 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ 跃增到 $26.9 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$;而 09:58:29 ~ 09:59:01,云滴平均直径从 $6.96 \mu\text{m}$

跃增到 $19.75 \mu\text{m}$;温度由原来的单调上升,从 09:58:34 开始转为下降,最低至 $-6.4 \text{ }^\circ\text{C}$,并维持在 $-6.3 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右,直到 10:03:19 开始上升。此时飞机位于河北省高邑站和临城站之间。据文献[1]分析,1991 年 5 月 25 日降水过程至少有 8 个雨团活动,7 号雨团在 09:00 ~ 10:00 从高邑移往临城,飞机必定穿过 7 号雨团,结合本文进一步分析,认为液水含量、云滴浓度和云滴平均直径的突然跃增以及温度的下降与飞机进入 7 号雨团有关。

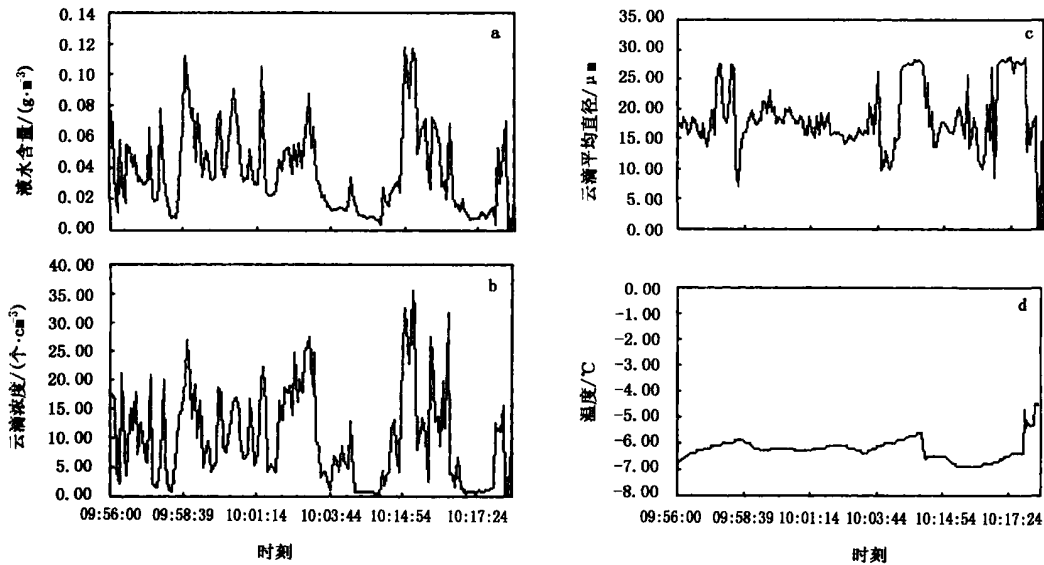


图 2 1991 年 5 月 25 日飞机平飞时 FSSP 测定的云物理量时间序列图
(a. 液水含量, b. 云滴浓度, c. 云滴平均直径, d. 温度)

液水含量的第 2 个跃增出现在 10:14:44 ~ 10:14:54,由 $0.0243 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 迅速增大到 $0.117 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$,与第 1 次跃增幅度相似。10:14:49 ~ 10:16:24 时段内飞机穿过一个距离为 10 km(航速 $114 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)的云带,平飞资料中云滴浓度的极大值($3.55 \times 10^7 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$)出现在该云团内,与该时间段对应的温度曲线处在 $-6.9 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右,是平飞阶段探测到的最低温度,液水含量和云滴浓度曲线起伏很大,但所对应的云滴平均直径曲线比较平缓。从航速和时间推算此时飞机位于曲周站上空。图 3 给出了曲周站逐时雨量图,10:00 ~ 11:00 时雨量明显高出周围。

图 4 给出了液水含量第 1 次跃增前后的云滴谱分析。云滴谱为双峰型,峰值位于 $12 \mu\text{m}$ 和 $28 \mu\text{m}$ 之间,峰值从 09:58:34 开始不断增大,直至 09:58:

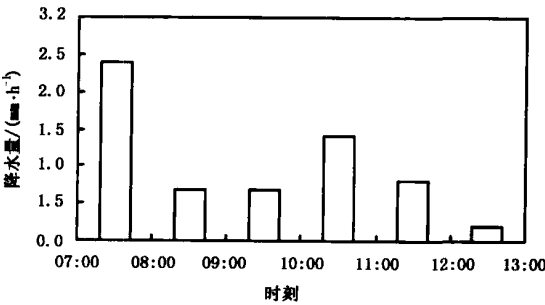


图 3 曲周站逐时雨量

49 跃增结束,09:58:54 的峰值开始下降。图 5 为液水含量出现第 2 次跃增前后的云滴谱,谱型先是出现多峰型,随后变为双峰型,峰值明显增大,主峰峰值从 $1 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ 突跃至 $3.5 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$;主峰滴谱明显

拓宽,同时主峰对应的云滴平均直径从 $11\text{ }\mu\text{m}$ 增大到 $17\text{ }\mu\text{m}$,即与液水含量的第1次跃增不同,第1次主要由于粒子浓度增加引起,而第2次是由于粒子浓度增加和粒子直径增大同时引起。

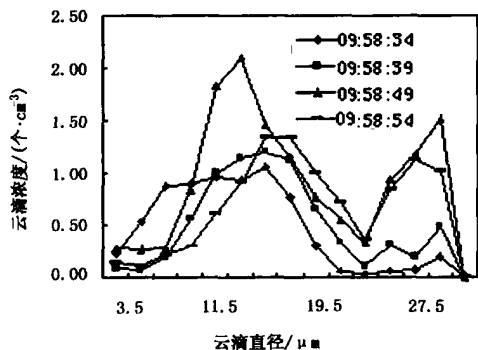


图4 液水含量第1次跃增前后的云滴谱变化

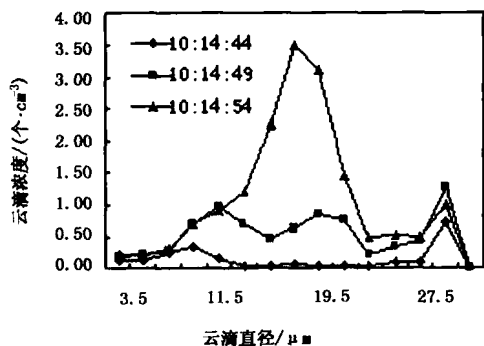


图5 液水含量第2次跃增前后的云滴谱变化

综合以上分析,本次飞行穿越2个较强降水云带,第1个位于高邑至临城之间,宽约5 km(09:58:34~09:59:19),第2个位于曲周站附近,宽约10 km(10:14:49~10:16:24)。飞机在进入这两个较强云带时,云物理量会产生剧烈变化,液态水含量跃增,云滴浓度快速增大,云滴谱谱宽拓宽,温度下降,在同一较强云带中,温度变化不大并且比周围低。

4 冷云可播性分析

胡志晋^[2]提出了新的层状云人工增雨机制,陶树旺等^[3]提出应以PMS的FSSP-100探头探测的云中粒子浓度,以及2D-C探头探测的云中大粒子浓度作为判别云中可播性的主要技术参数,并发展了层状冷云飞行人工增雨实时监测指挥技术,指出FSSP-100探测的粒子浓度不小于 $20\text{ 个}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的云区才具有一定的可播性,其中2D-C探测的大粒子

浓度小于 $20\text{ 个}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,可确定为强可播区,否则为可播区。根据上述判别指标,对1991年5月25日平飞阶段进行云中可播性分析,如图6所示。

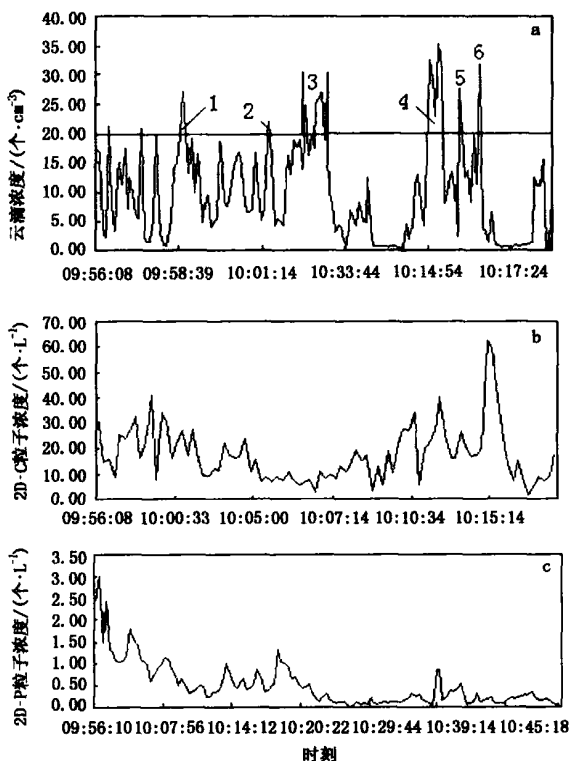


图6 飞机平飞阶段云中可播性技术参数时间序列
(a.云滴浓度,b.冰晶浓度,c.雪晶浓度)

记云滴浓度为 N_1 , 2D-C大粒子浓度为 N_2 , 1991年5月25日09:56~11:07飞过的冷云中,可播区分别记为1~6(云滴浓度大于 $20\text{ 个}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的可播区),其他云区为不可播区,其中3区为强可播区, N_2 平均为 $10.4\text{ 个}\cdot\text{L}^{-1}$; 1区和4区冰晶含量丰富, 1区的 N_2 平均为 $32.1\text{ 个}\cdot\text{L}^{-1}$, 4区平均为 $62.4\text{ 个}\cdot\text{L}^{-1}$,这进一步说明了1区和4区是2个较强降水云带。2D-P资料也对应较好。

图7给出了09:58:15~09:58:55的2D-C和2D-P图像资料。由图中可以看出,09:58:35和09:58:55的图像上冰晶和雪晶粒子明显变大,霰粒子和聚合物开始出现。10:14:49前后的2D-C和2D-P图像资料缺失。

5 平飞阶段液态水含量时间序列距平分析

为进一步分析层状云的不均匀性,对平飞阶段液态水含量进行时间序列的距平分析(图8)。全部



图 7 09:58:15 ~ 09:58:55 的 2D-C 和 2D-P 图像资料

平飞阶段的含水量平均值为 $0.0373 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, 由图中可见, 两个较强降水云带的边缘波动都很大, 最大正距平出现在 10:14:54, 与第 2 个云带相对应。对平飞阶段的其他云物理量做同样的分析, 结论相似。

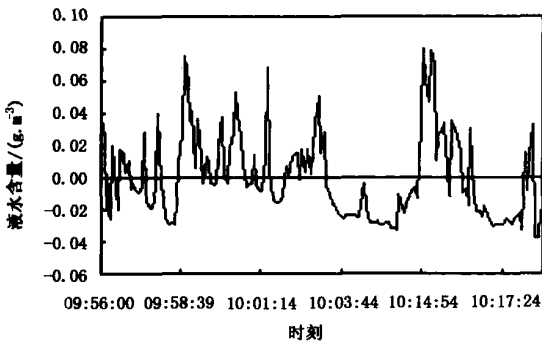


图 8 平飞阶段含水量距平时间序列

6 结语

回流天气系统层状云具有不均匀性, 表现为较强降水云带, 空中较强降水云带和地面降雨量具有很好的对应关系。飞机在进入较强云带时, 云物理量等会产生剧烈变化, 表现为液态水含量、云滴平均直径和云滴浓度跃增、云滴谱宽拓宽、温度下降等, 在同一较强云带中, 温度变化不大并且比周围低, 较强降水云带冰晶含量丰富, 自然催化较好。

参考文献

1 游景炎, 钱春生. 一次回流降水过程的中尺度分析. 见: 游景炎等编. 云降水物理和人工增雨技术研究. 北京: 气象出版社, 1994. 29 - 34
2 胡志晋. 层状云人工增雨机制、条件和方法的探讨. 应用气象学报, 2001, 12(增刊): 10 - 13
3 陶树旺, 刘卫国, 李念童, 等. 层状冷云人工增雨可播性实时识别技术研究. 应用气象学报, 2001, 12(增刊): 14 - 22

Inhomogeneity of Stratiform Clouds in Returning Weather Processes

Yang Wenxia¹ Niu Shengjie² Wei Junguo³ Sun Yuwen¹

(1 Hebei Provincial Weather Modification Office, Shijiazhuang 050021; 2 Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044; 3 Hebei Provincial Meteorological Office, Shijiazhuang 050021)

Abstract: Based on the PMS data obtained during a returning process, the inhomogeneity of stratiform clouds in returning processes was analyzed from the aspect of microphysical structure. It is found that when the aircraft flies into stronger precipitating cloud bands, the main cloud physical parameters (liquid water content, particle mean diameter and concentration, and temperature) change greatly; the liquid water content, the mean diameter and the particle concentration leap up; spectrum width becomes wider; temperature drops; and so on. In the stronger cloud band, temperature variation is smaller and meanwhile temperature is lower. The stronger precipitating cloud bands have abundant ice crystals, indicating better natural seeding potential.

Key words: returning process, stratiform cloud, inhomogeneity