

一次回流降水过程的中尺度分析

游景炎

钱春生

(河北省气象台, 石家庄 050021) (河北省人工影响天气办公室)

提 要

该文对1991年5月24—25日华北回流天气过程作了分析。认为:(1)回流降水结构,在低层东北气流冷垫与中高层西南暖湿气流共同作用下,形成暖锋降水云系,有利于进行人工催化作业;(2)边界层出现冷空气活动,与降水增强有密切联系;(3)深厚的逆温层,同时也是东北风与西南风的过渡层。逆温层上下,风的垂直切变很大,以致整层的理查逊数 $Ri < 1$,是导致降水增强的一种机制。

关键词: 回流天气 降水 中尺度分析 高空暖锋 人工影响天气

前 言

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。虽然地面冷锋已经远离华北,但华北仍持续阴雨。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”。

回流是华北春季的主要降水形势,对缓解华北春旱十分有利,也是进行人工增雨作业的有利时机。这次过程曾进行人工催化作业,同时进行地面、高空加密探测和机载PMS(粒子测量系统)探测。本文利用这些资料,进行了中尺度分析,研究了锋后持续阴雨的原因和降水机制。

1 回流降水过程

1.1 天气尺度系统

5月21—25日500hPa 亚洲中纬度气流平直,锋区在 40°N 附近。其间,有短波槽自河西走廊东移,24日位于民勤—西宁,25日移到河套地区,26日移出华北(图1)。

地面冷锋沿 40°N 快速东移,24日02时侵

入东北到华北北部;24日08时冷锋遇长白山后,冷空气折向南、西南涌入渤海湾、华北平原;24日14时以后移出华北平原,继续南下。

华北平原降水过程有两段:第一段为冷锋降水,发生在24日上午;第二段为高空暖锋降水,发生在24日夜间到25日下午。雨区在地面冷锋后与高空槽前的范围内,呈椭圆状,为SW—NE走向,长短轴分别约为1300和800km,雨区很宽广(见图1,25日08时雨区)。

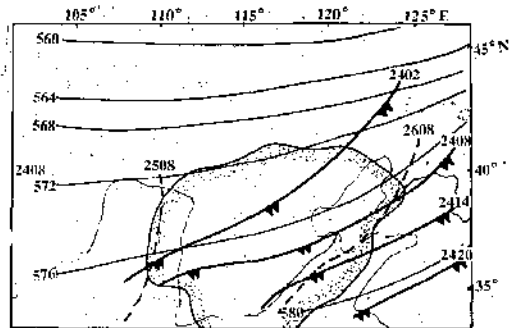


图1 1991年5月21—25日天气过程演变图

实线为21—25日500hPa平均高度场,
虚线为500hPa槽线,阴影为25日08时雨区

1.2 中尺度系统

从衡水单站时间演变图(图2)看到,第一段降水从24日10时开始,为阵性降水;第二段

降水从17时持续到次日15时。第二段降水期间有两次雨量加强,一次从20时至25日00时,另一次在09—15时。这两次都伴有冷涌(边界层冷空气活动)出现。冷涌的特征是:单站气

压升高、东北风加大(由 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 增大到 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)、雨强加大;在区域地图上有关风速辐合线,自东向西移动,移至太行山麓(平均 1500m)迎风坡,强迫抬升,上升运动加强。

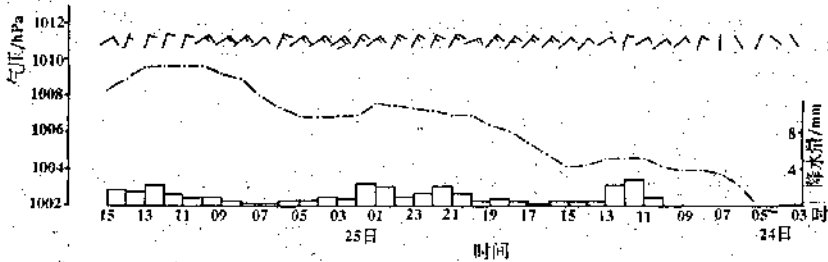


图2 衡水单站风向风速、气压(虚线)及降水时间演变图

这次降水过程至少有8个雨团活动,雨强变化由 $1\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ — $12\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。1,2,3,4号雨团分别出现在24日06时—25日00时之间,其路径先是自北向南移动,20时开始明显转为自西向东移动。5号雨团出现在24日20时—25日00时之间,其路径自西向东移动。6,7,8号雨团分别发生在25日03—18时,其路径自西南向东北移动,7号与8号雨团于11时一度合并。

从雨团路径亦可区分两类不同性质降水:(1)冷锋降水,发生在24日白天,雨团随冷锋南移,自北向南移动,雨强变化为 1.6 — $12.2\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。(2)高空暖锋降水,发生在24日夜間和25日白天,雨团自西南向东北移动,与 500hPa 风向基本一致,雨强变化为 0.7 — $7.0\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$,比冷锋的雨强变化小。高空暖锋降水是在低层东北风(冷垫)与中高层西南风(暖湿气流)配合下形成和维持的。两次雨量加强,在地面都伴有冷涌现象。

2 降水机制

2.1 高空暖锋降水结构

从邢台探空时空剖面(图4)看到,自24日07时—25日19时(每3小时一次),在对流层低层均存在深厚的逆温层,其下边界 1.5 — 2.6km ,上边界 2.2 — 3.4km ,厚度 0.5 —

1.5km 。逆温层最初属锋面逆温,逐渐升高。以后,由于锋后低层冷平流加强,其上层有高空槽逼近,暖湿平流加强。差动平流的结果,使原来的锋面逆温得以维持和加强变厚,水平范围也很广。

同时,在逆温层上下,风的垂直切变很大。逆温层以下为强NE风(最大 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),以上为强SW风(最大 $42\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)。在逆温层内为NE—SW风的过渡层,风向呈顺转,可知,中高层为强的暖平流。

湿层很深厚。 $(T-T_d)=5^\circ\text{C}$ 等值线的上界,由 4.5km 发展到 11km ,维持时间达24小时。其中,24日夜間到25日上午,从地面到 7km , $(T-T_d)\leq 1^\circ\text{C}$ 。可见,饱和层很深厚。对应雨量明显加大,邢台3小时雨量达 13.6mm 。另外, 0°C 层在 4.2km 附近,位于逆温层之上。

综上所述,回流降水具有高空暖锋结构,在暖锋降水云系中,降水强度有起伏变化。

2.2 云物理探测事实

图5给出5月25日11时06分—11时28分飞机下降时,机载PMS探测的云物理参数。综合分析认为: 0.1 — 0.3km 为Fs, 0.9 — 1.1km 为Sc, 1.5 — 2.8km 为Sc, 3.2 — 4.0km 为As, 4.0km 以上没有探测。这些云层分布事实,与上节探空分析基本一致。

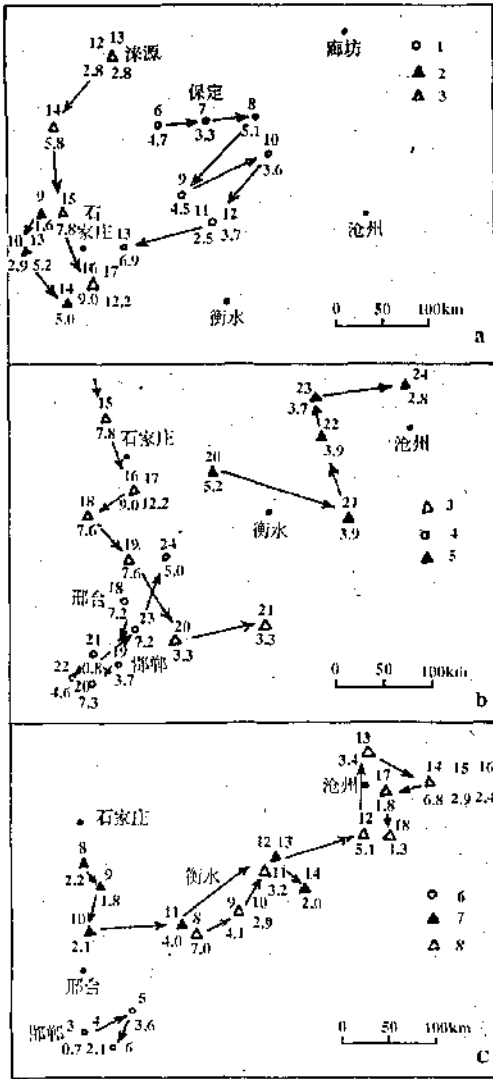


图3 雨团移动路径及强度变化($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)
符号上方数字为时间,下方为每小时雨量

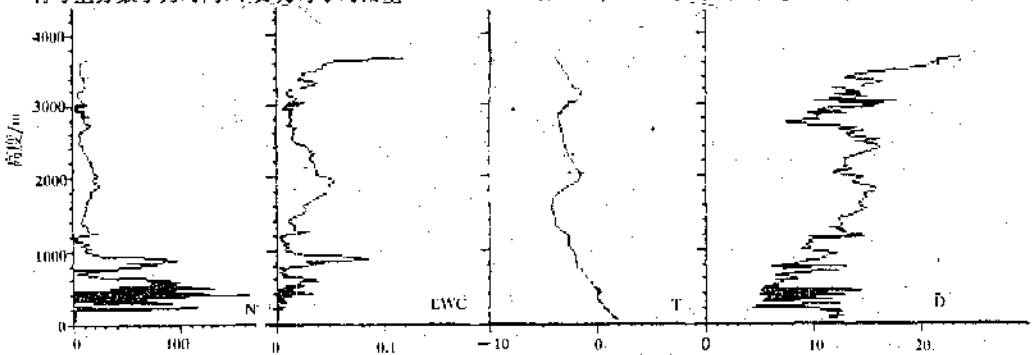


图5 1991年5月25日11时06分—11时28分机载PMS探测资料(飞机下降)

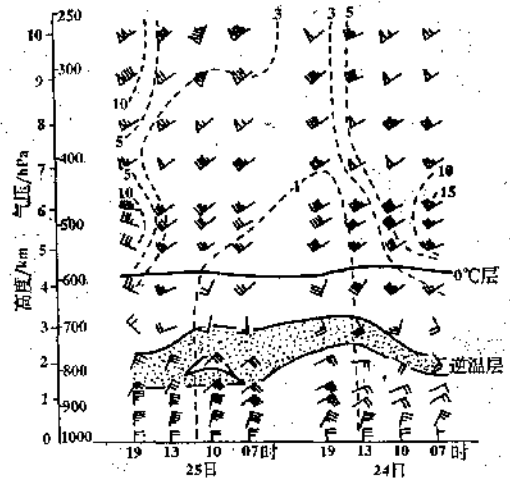


图4 1991年5月24—25日邢台探空时间剖面
虚线为温度露点差($T-T_d$)等值线

从这次降水云物理图象可以看到,0°C层在4.2km,其上为As、Cs,含有大量的过冷却水和冰雪晶。其下为As和两层不同高度的Sc,含有大量的液态水和大水滴,液态水含量达 $1\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。这种多层云的结构,能起到播撒云与丰水云结合的作用,有利于自然降水的产生和加强。

3 讨论

1989年苏联学者^[1]做数值模拟的结果表明:风切变能加强垂直运动,尤其是在对流层中部锋区的背风面,使云系和降水得到极大的发展。

理查逊数(Ri)描述了乱流运动因抵抗重力所做的功与雷诺应力使平均运动动能变成脉动动能之比的大小。当 $Ri < 1$ 时,乱流发展;当 $Ri > 1$ 时,乱流受抑制。

用邢台探空资料计算理查逊数

$$Ri = \frac{\frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial z}}{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2}$$

计算结果(图6)表明:(1)从24日07时至25日19时,各层 Ri 均小于0.21,最小为0.02,有利于乱流发展;(2)低层(850—700hPa)比高层(700—500hPa) Ri 小,说明低层更有利于乱流发展;(3)从时间演变上, Ri 由大变小,然后由小变大。最小值出现在24日夜间,此时正是降水最强的时候。

在回流降水过程中,虽然大气层结极为稳定,但同时由于风的垂直切变也很大,以致 Ri 很小,有利于降水的维持和加强。

参考文献

- 1 СЕРГЕЕВ В. Н., О ВЛИЯНИИ ВЕРИКАЛЬНОГО СДВИГА ВЕТРА НА МЕЗОМАСШТАБНЫЕ ПОЛЯ

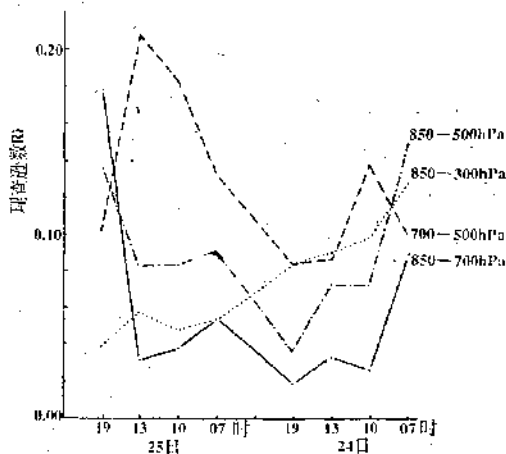


图6 1991年5月24日07时—25日19时邢台的各层理查逊数

ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКОРОСТИ И ОСАДКОВ В ЗОНЕ ФРОНТА. (见国外科技资料目录(气象学),1991年第3期,P17,国家气象局情报所。)

A Meso-Scale Analysis of Precipitation Within a Return Current Process

You Jingyan

(Hebei Provincial Observatory, Shijiazhuang 050021)

Qian Chunsheng

(Hebei Provincial Weather Modification Office, Shijiazhuang 050021)

Abstract

The precipitation within a return current process over Northern China in May 24—25 1991 is analysed. It is considered that: (1) The structure of the return current process precipitation, NE cold flow at low level and SW warm and wet flow above, form the warm front precipitation cloud system in favour of the weather modification cloud seeding; (2) The precipitation enhancement is closely related with the cold air action in the boundary layer; (3) The deep inversion layer is actually the transitional level of NE and SW wind. The vertical wind shear above and below the inversion layer is very strong. So that the Richardson number is less than 1.0 within all the layers, and it is a mechanism of precipitation enhancement.

Key Words: return current weather precipitation meso-scale upper warm front weather modification