强降水落区中单站降水诊断分析和预报

施望芝　金　琪　刘　静　王宏记

(武汉中心气象台 , 武汉 430074)

摘要　对 2003 年 7 月 19 日湖北省发生的一场降水强度较强、落区面积较大但武汉市单站出现暴雨空报的大到暴雨过程进行分析。通过诊断分析,解释了其区域暴雨发生和单站暴雨空报原因。结果表明,这是一次典型的中纬度斜压系统引起的大尺度大到暴雨过程,它的发生机制可用准地转运动理论给予很好的解释。而单站的强降水,特别是大到暴雨区中或大到暴雨区边缘单站的大到暴雨是否发生,必须通过诊断分析次级环流,当次级环流条件满足时,才能产生暴雨,否则会出现空报现象。

关键词　单站　强降水　诊断分析　次级环流

引言

暴雨是强对流天气现象的一种,是中小尺度系统直接作用的结果,在降水时间、强度和空间分布上存在着不均匀性,因此,单站大到暴雨空报现象常有出现,暴雨落区、落时、落点预报是当今世界上重大的科学研究课题之一。

本文利用常规资料、T213 数值预报产品,对 2003 年 7 月 19 日湖北省大到暴雨过程、武汉市单站暴雨空报现象进行诊断,分析中尺度现象区域中单站某些物理要素的演变规律,探讨空报的原因。

1　常规资料分析对降水落区的预报

1.1　数值预报产品分析

对于日本和应用时间不长的 T213 降水预报产品,经过应用证实,不论是落时、落区、强度都有一定的参考价值。所以,预报员常以这两种数值预报产品作参考。2003 年 7 月 17 日 20 :00 日本和 T213 降水预报产品(图 1a、b) ,同时预报 48 h 后湖北大部有大到暴雨,它们在降水时间、落区、强度上如此一致,给预报员提示了应该特别关注 48 h 前后,湖北省内有强降水天气发生的可能。结合天气形势的分析,17 日开始对外预报湖北大部包括武汉市有强降水天气。

1.2　准地转理论解释

《天气过程诊断分析原理和实践》[1]一书中指出:涡度平流及水平分布不均匀的温度平流是使地转平衡破坏的原因。对流层中层的暖平流中心引起高层等压面升高,低层等压面降低,造成高层辐散,低层辐合,从而强迫上升运动。

19 日 08 :00 500 hPa 图上降水天气系统表现比较强(图 1d) ,川东低槽明显,槽后冷平流、槽前暖平流非常强,存在较强的不均匀温度平流,这种热力强迫作用使湖北上空低层辐合,高层辐散,形成大尺度的强迫上升运动,是造成大到暴雨的重要因素之一。地面图上(图 1c) 河套冷高压明显,武汉处在暖倒槽中 1000(hPa) 线暖低压的东南方,汉口与汉中气压差值达 7 hPa,倒槽北端自由大气中对应辐合和强的正涡度。动力气象学理论指出[2],边界层的垂直运动与自由大气的地转风涡度成正比,公式表达为 :

$$\omega_B = 1/2\, h_E\, \zeta_g \qquad (1)$$

式中 h_E 是 Ekman 层顶的标高, ζ_g 是地转风涡度。根据这种 Ekman 抽吸作用,倒槽北端在行星边界层顶必然存在上升运动,有利降水发生。这样的中纬度斜压系统会带来大尺度大到暴雨过程。也就是说,高低层天气系统的配置,支持预报湖北大部包括武汉市有大到暴雨。

作者简介 :施望芝,女,1953 年生,高级工程师,主要从事短期天气预报和研究

收稿日期 :2003 年 9 月 28 日 ;定稿日期 :2003 年 11 月 5 日

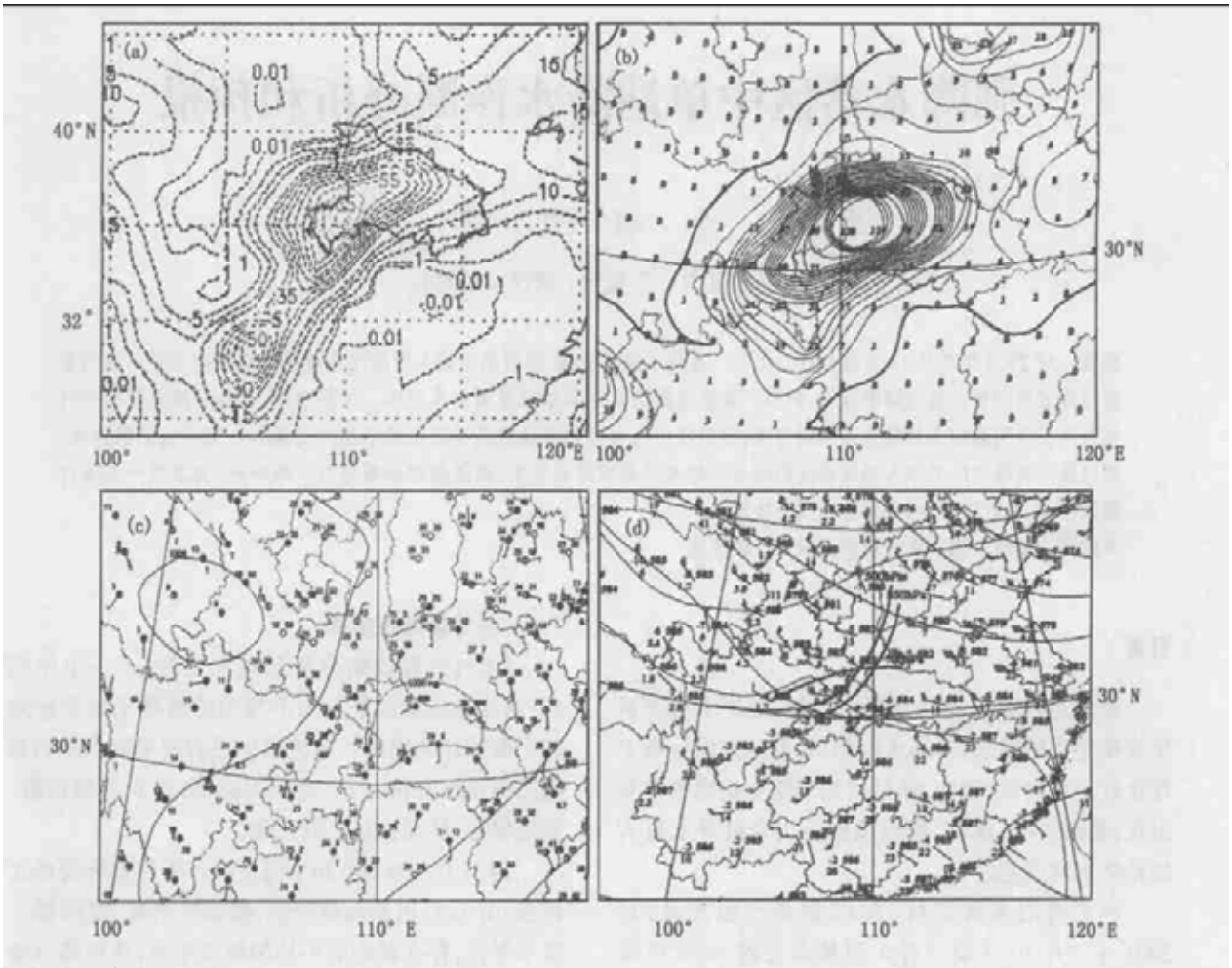

图 1 (a) 7 月 17 日 20 :00 日本 48 h 降水(mm) 预报 ; (b) 7 月 17 日 20 :00 T213 48 h 降水(mm) 预报 ; (c) 7 月 19 日 08 :00 地面天气图 ; (d) 7 月 19 日 08 :00 500 hPa 天气图

1.3 卫星云图分析

7 月 19 日 00 :00 ~ 10 :00 的卫星云图(图 2) 上可清楚看出 ,强降水云团开始出现在川东到鄂西地区 ,并存在着中尺度对流云团 ,08 :00 已给鄂西南地区带来大到暴雨。之后 ,降水云团并未减弱 ,继续随着 500 hPa 冷槽的东移而逐步东移 ,整片降水云系自西向东经过湖北大部。卫星云图上强降水云团的分布和移向 ,不得不继续预报武汉市有降水。

从 7 月 20 日 08 :00 降水实况反应出(图略) ,上述天气系统带来鄂西南暴雨 ,江汉平原大雨局部暴雨 ,鄂北中雨局部大雨 ,鄂东南零星小雨。实况和预报基本吻合。这充分说明 ,日本和 T213 降水预报产品是可用的 ,而且提前量较大 ,对预报有很大帮助 ;临近的常规资料和卫星云图可进一步预报降水落区和强度。从大到暴雨降水面积看 ,降水范围并不小 ,是一次典型的中纬度斜压系统引起的大尺度大到暴雨

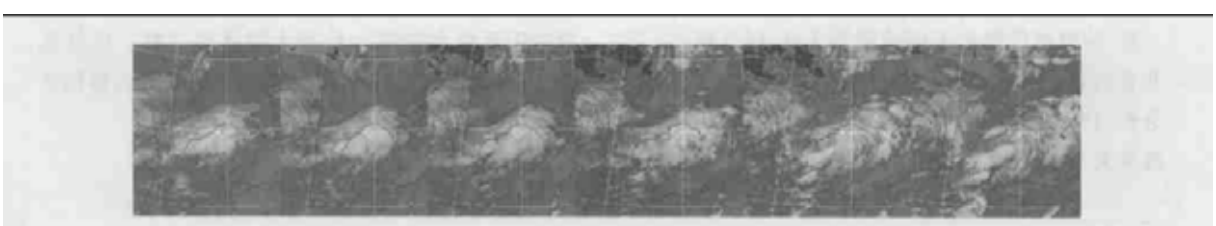

图 2 7 月 19 日 00 :00 、02 :00 、04 :00 、06 :00 、08 :00 、10 :00(UTC) 卫星云图

过程。武汉市处在强降水区南边界,给预报带来一定难度,预报有暴雨,结果滴雨未下,降水预报出现空报现象。因此要作好单站暴雨预报,还需要作次级环流分析,进一步订正单站暴雨是否会发生。

2　各物理量场诊断分析与强降水落点预报

因平流导致的次级环流的作用总是和水平流场的作用相反[3],从而恢复地转平衡。但当大气层结不稳定时,平流引起的次级环流并不能起到使地转平衡恢复的作用,因此将导致扰动的不稳定发展。

2.1　高低层涡度平流

准地转平衡破坏的另一重要因素是高低层涡度平流配置。其诊断分析结果显示,18 日 08:00 850 hPa 24 h 预报场(图 3a)低层有明显的负涡度平流,但位于鄂西,宜都站处在负值区,而武汉站处在正值区;18 日 08:00 200 hPa 24 h 预报场(图 3b)高层为较强的正涡度平流,同样局限在鄂西,宜都站的值为 $90\times10^{-10}\ s^{-2}$,武汉站的值为 $-70\times10^{-10}\ s^{-2}$。宜都站低层负值高层正值,地转平衡受到破坏,有动力强迫作用,扰动不稳定得到发展,促使大到暴雨天气发生。而武汉单站低层正值高层负值,这样的涡度平流配置,表现出没有动力作用,不能导致次级环流发展,不稳定发展不起来,地转平衡基本恢复,不可能有大到暴雨天气发生,这就是武汉暴雨空报原因之一。

2.2　单站垂直运动

这里给出宜都和武汉两站点沿各站经度垂直速度剖面图。先分析出现暴雨的宜都站上空上升运动情况,分析 7 月 18 日 24 h 预报场沿 111°E 垂直速度剖面图(图 3c),由图可见,在 22°~30°N 之间的大气层为一个相当强的垂直上升区,最大值位于 550~450 hPa 之间,宜都站 500 hPa 的值达 $-18\times10^{-4}\ hPa\cdot s^{-1}$,垂直上升运动轴线从低层往高层向北倾斜,并在 30°N 附近有冷空气切入到上升运动区低部,形成了南北气流的辐合点,为宜都的暴雨提供了

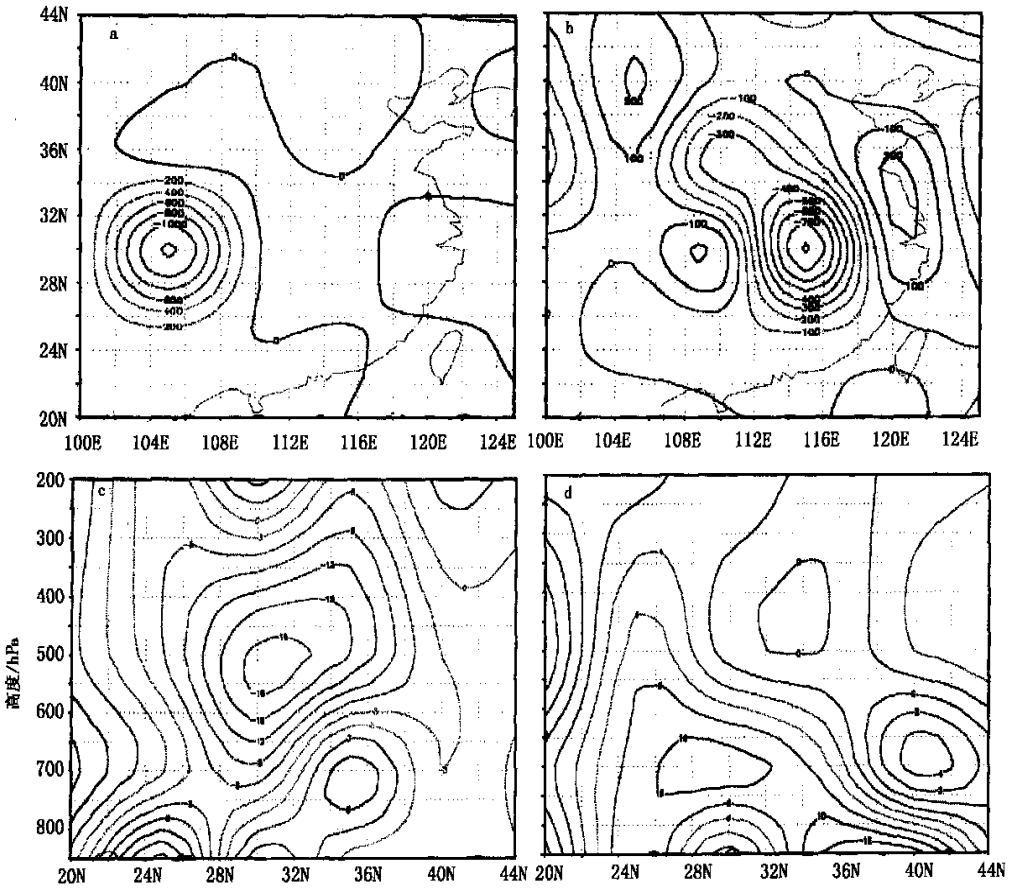

图 3　(a) T213 18 日 08:00 24 h 850 hPa 涡度平流;(b) T213 18 日 08:00 24 h 200 hPa 涡度平流;(c) T213 18 日 08:00 24 h 宜都站垂直速度剖面图;(d) T213 18 日 08:00 24 h 汉口站垂直速度剖面图

(涡度平流:$10^{-10}s^{-2}$,垂直速度:$10^{-4}hPa\cdot s^{-1}$)

有利的动力条件。再分析没有暴雨出现的武汉站上空上升运动情况,分析 7 月 18 日 24 h 预报场沿 114°E 垂直速度剖面图(图 3d),由图可见,在 27° ~ 37° N 之间,从低层往高层基本上是正值垂直速度区,汉口上空 700 hPa 的值为 10×10^{-4} hPa•s^{-1},为下沉气流区,没有上升运动存在,降水天气不可能发生。

上述两站点垂直上升运动的分析比较,说明单站上空要有强烈的垂直上升运动,才有利强降水发生。否则即使强降水云团经过某站点上空,没有上升运动相配合,强降水也不会发生。这是暴雨区中或边缘总有站点暴雨空报的原因之二。

2.3 水汽通量和水汽通量散度

充足的水汽是产生暴雨最主要的条件之一。暴雨发生不但要求有很好的局地水汽条件,还要有源源不断的水汽进行补充。大量的水汽在暴雨区辐合,暴雨才有可能发生。从水汽供应角度,分析了 700 hPa 7 月 18 日 08:00 24 h 水汽通量和水汽通量散度预报场和预报值。水汽通量场(图 4a)表明,大值区处在鄂西南以西 以南的地区,水汽通道轴线从西南向东北方向倾斜;在 7 月 18 日 08:00 700 hPa 风场上表现出(图略),从孟加拉湾—云南—贵州—鄂西有一支大于等于 12 m•s^{-1}的西南风,这支西南风的走向与水汽通量大值轴线一致,致使水汽不断输送到鄂西,宜都站点处在大值区的下风方,水汽不断增大;鄂东处在水汽小值区,没有水汽供应通道,武汉站的值为 15×10^{-1}g•hPa^{-1}•cm^{-1}•s^{-1}。水汽通量散度场(图 4b)表明,鄂西为水汽辐合区,宜都站点的值为 -70×10^{-8}g•hPa^{-1}•cm^{-2}•s^{-1},在水汽辐合区中心,鄂东是水汽辐散区,武汉站点处在 0 值线附近,水汽辐合不明显。

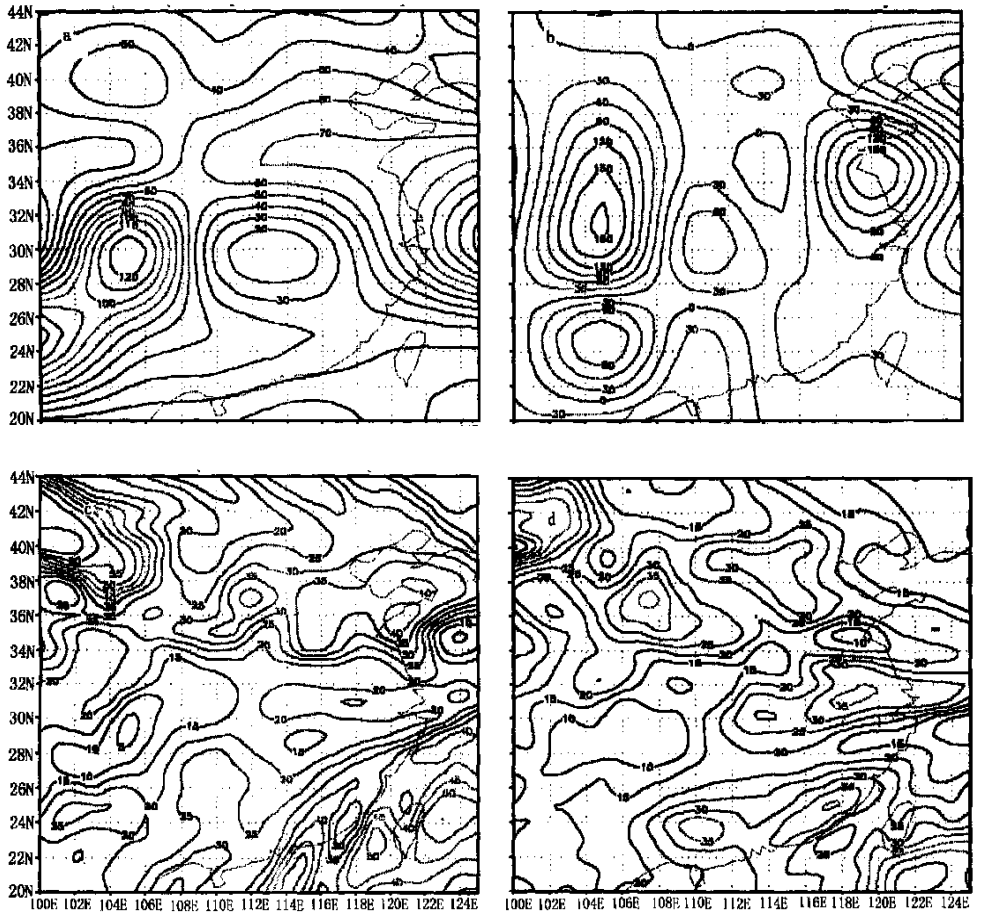

图 4 (a) T213 18 日 08:00 24 h 700 hPa 水汽通量;(b) T213 18 日 08:00 24 h 700 hPa 水汽通量散度;(c) T213 18 日 08:00 36 h $\Sigma_{5+7+8}(T-T_d)$叠加;(d) T213 19 日 08:00 实时 $\Sigma_{5+7+8}(T-T_d)$叠加

(水汽通量:10^{-1}g•hPa^{-1}•cm^{-1}•s^{-1},水汽通量散度:10^{-8}g•hPa^{-1}•cm^{-2}•s^{-1},$T-T_d$:℃)

2.4　局地水汽条件

用 500、700、850 hPa 三层格点温度露点差之和[$\Sigma_{5+7+8}(T-T_d)$]来表示站点整层大气饱和程度。通过诊断分析 7 月 18 日 08:00 36 h 预报叠加值可以看出(图 4c),在暴雨发生的宜都站其值小于等于 15 ℃,表明其单站整层大气非常饱和;在没有暴雨发生的武汉其值小于等于 20 ℃,表明其整层大气不饱和。在暴雨发生的当天 7 月 19 日 08:00 实时[$\Sigma_{5+7+8}(T-T_d)$]叠加图(图 4d)上反应出,宜都站其值小于等于 10 ℃,表明其整层大气的饱和强度比前一天更强;武汉其值小于等于 30 ℃,表明其整层大气水汽条件更差。这进一步说明了局地水汽条件充足,是产生暴雨非常重要的条件之一。这一要素也能提前 24 h 有反应。

对于单站强降水预报,虽然天气尺度系统、降水云团的生成、数值预报产品都支持预报湖北大部有大到暴雨,但更重要的是要通过诊断分析单站热力、动力、水汽条件,当这些次级环流条件满足强降水天气发生的条件后,再预报单站有强降水天气发生,就可以避免单站暴雨空报现象。

3　小结

(1)单站高低层正、负涡度平流同时处在强的垂直上升运动区,这种强迫的动力条件,是促发单站暴雨发生的重要条件。

(2) 单站处在水汽通量大值区或下风方,同时处在水汽通量散度辐合区以及单站整层[$\Sigma_{5+7+8}(T-T_d)$]≤15 ℃,是单站暴雨发生的必要条件。

(3) 上述各要素场和值满足时,可预报单站 12 ~ 48 h 内有强降水天气发生。

(4) 利用物理量场作暴雨预报时,一定要与天气形势相结合,防止强降水开始时漏报和结束时的空报。

参考文献

1　陶祖钰,谢安(编著).天气过程诊断分析原理和实践.北京:北京大学出版社.1989

2　霍尔顿 J R.动力气象学引论.中国人民解放军空军气象学院训练部译. 北京:科学出版社,1972

3　刘式适,刘式达(编著). 大气动力学.北京:北京大学出版社,1991

Diagnostic Analysis and Single-Station Area Forecast of a Strong Precipitation Event

Shi Wangzhi　Jin Qi　Liu Jing　Wang Hongji

(Wuhan Central Meteorological Office, Wuhan 430074)

Abstract: In order to improve the single-station precipitation forecast accuracy, a case study was conducted on a strong precipitation event on 19 July 2003 in Hubei Province. Through diagnostic analysis, the causes of circulation formation were discussed. The results show that it was a typical large-scale heavy rain process resulted from a mid-latitude barocline system, and its formation mechanism can be explained by the quasi-geostrophic theory. For strong precipitation forecast, especially severe heavy rainfall forecasts within or at the edge of the raining area, secondary circulation must be diagnosed and analyzed. Only when the conditions of the secondary circulation are met, heavy rainfall will occur; or else there will be an absent forecast.

Key words: single station, strong precipitation, diagnostic analysis, secondary circulation