

解释台风暴雨落区判据的探讨*

王淑静 周黎明

(国家气象中心, 北京 100081)

陈高峰

(陕西省气象台, 西安 710015)

提 要

在倾斜涡度发展理论所推得的强降水判据($MPV1 < 0$ 同时 $MPV2 > 0$)指导下, 对不同路径, 结构不同的登陆台风的若干实例进行了暴雨落区的解释, 最后初步总结了业务化实用的判据, 结果表明, 理论判据中湿位涡水平分量 $MPV2$, 用其分量即非地转部分 $MPV'2$ 代替更为适宜. 文中还提出了在台风倒槽的顶部, 是台风与西风带系统相互作用最活跃的地方, 易生次天气尺度及中尺度扰动, 表现为 $MPV1$ 与 $MPV'2$ 的骤增, 往往是突发性暴雨的生成之地.

关键词: 倾斜涡度 台风暴雨 预报判据

引 言

实践表明, 对暴雨而言, 单一的诊断物理量如垂直运动、涡度、散度等, 虽然对天气的发生发展具有指示意义, 但是由于暴雨等灾害性天气过程的物理结构复杂, 因此用单一物理量或几个物理量的简单组合进行解释, 都不能取得满意的效果. 所以寻求能反映重要空间物理结构和物理机制的物理量是许多业务研究人员关注的课题之一.

80年代初, Hoskins 等全面总结了有关位涡理论的发展历史, 并充分说明了位涡在诊断研究和业务分析预报中的应用价值. 近年来, 该项研究和应用进一步开展起来, 90年代初, 吴国雄等在湿位涡守恒的基础上研究了湿斜压过程中涡旋垂直涡度的发展理论^[1, 2]. 本文利用 p 坐标所表示的湿位涡的两个分量, 并对湿位涡的水平分量有关风的部分作了实测风和变压风的两种计算, 在倾斜涡度发展理论的指导下, 探讨了登陆台风暴雨落区的判据, 目的是在数值产品的基础上寻求业务化的预报方法.

* 国家“七五”攻关延续课题资助.
1996-04-25 收到, 1996-08-26 收到修改稿.

1 解释台风暴雨落区的理论依据

本文依据倾斜涡度发展理论, 即当 θ_e 面陡立时, 水平风垂直切变或湿斜压度增长, 会引起气旋性涡度的增加, 往往导致暴雨发生, 对台风暴雨落区进行解释, 并采用该理论提出的 $MPV1 < 0$, 同时 $MPV2 > 0$ 作为判据.

该判据是根据湿位涡的守恒性导出的, p 坐标湿位涡守恒的表达式为:

$$MPV = -g(\xi_p + f) \frac{\partial \theta_e}{\partial p} + g \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial x} - g \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial \theta_e}{\partial y} = \text{const} \quad (1)$$

将其写成分量形式

$$MPV1 = -g(\xi_p + f) \frac{\partial \theta_e}{\partial p} \quad (2)$$

$$MPV2 = g \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial x} - g \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial y} \quad (3)$$

其中, $MPV1$ 是湿位涡的第一分量, 为垂直分量, 其值取决于空气块绝对涡度的垂直分量与相当位温的垂直梯度的乘积 (ξ_p 是垂直方向涡度, f 是地转涡度). 因为绝对涡度是正值, 当大气是对流不稳定时, $\frac{\partial \theta_e}{\partial p} > 0$, 所以 $MPV1$ 是负值. 如大气是对流稳定的, 则有 $\frac{\partial \theta_e}{\partial p} < 0$, $MPV1 > 0$. $MPV2$ 是湿位涡的第二分量, 为等压面上的水平分量, 它的数值由风的垂直切变(水平涡度)和 θ_e 的水平梯度决定.

从上述两式也可看出, 垂直涡度的变化是与大气的稳定度, 风的垂直切变和湿斜压度有密切的关系.

2 资料和计算方案

本文采用 E. C. 精度为 2.5×2.5 的 5 层 (1000、850、700、500、300 hPa) 网点数据 (包括温、压、风、湿), 按公式 (2)、(3) 计算 $MPV1$ 、 $MPV2$. 由于 $V = V_g + V'$, 本文又计算了 MPV_{g2} 和 $MPV2'$, 其中 V_g 是地转风, V' 是地转偏差, 计算时 V' 用变压风代替.

本文对暴雨落区的解释是对两类不同路径登陆台风进行的, 9216 号台风 (Polly) 代表台风登陆北上类, 8807 号 (Bill)、8510 号 (Nelson)、8107 号 (Maury) 台风代表台风登陆西行类.

3 实例解释

3.1 例 1: 9216 号台风 (Polly)

9216 号台风于 1992 年 8 月 31 日 00 时在福建登陆北上, 9 月 1 日 06 时从江苏北部入海 (见图 2(a) 粗矢线), 沿途伴有暴雨天气, 由于在北上的过程中和周围系统的相互作用, 使台风的物理结构变得异常复杂. 如 8 月 31 日 12 时~9 月 1 日 00 时, 河套附近有

弱冷锋进入台风环流, 9月1日00时到9月1日12时西风带低槽与台风倒槽相遇等。台风所经之地, 不但有其本体带来的暴雨, 还同时产生了台风倒槽和远距离的暴雨, 在山东半岛、辽东半岛的一些台站日降水量竟达200 mm以上。

对这种复杂结构的台风, 很难准确作出暴雨落区预报。下面以 $MPV1$ 、 $MPV2$ 的判据为依据进行诊断, 这里只分析主要降水时段8月31日12时至9月1日12时的暴雨落区。又因为诊断分析仅代表天气过程瞬间的热力、动力特征, 而降水量是反映一个时段的, 所以也必须连续的考察同一时段的或主要降水时段的物理量变化。

下面用850 hPa的暴雨判据解释实际暴雨落区。图1(a)、(b)有3个标记, A、B、C, 它们是8月31日12时~9月1日00时850 hPa上的3个 $MPV1$ 的负值低中心。

A、B中心与当时台风的中心位置并不重合, 它反映了当时台风的低层辐合和对流不稳定的中心。它的外围被 $MPV1$ 等值线的密集区包围着, 这个密集区是不均匀的、不对称的。C中心与台风中心相距最远, 有弱的冷锋侵入, 它的生成与对流不稳定的增加有关, 可以看作是次天气尺度及中尺度扰动的结果。

从12小时的动态分析, A从迅速减弱到消失、B从低值轴到中心形成, 这些变化都与台风北上密切相关。C由于有了西风带系统的能量供应, 显得异常活跃。

图1(a1)、(b1)和(a2)、(b2)分别是8月31日12时至9月1日00时的 $MPV2$ 和 $MPV'2$ 分布图。将图1(a1)、(b1)中的 A^0 、 B^0 、 C^0 处的 $MPV2$ 的符号与图1(a2)、(b2)中相应的地方 A' 、 B' 、 C' 处 $MPV'2$ 的符号相对照, 发现仅 B^0 与 B' 的周围符号差别较大。 B^0 处在这段时间保持 $MPV2 < 0$, 但它不能解释图2(a)中B和 B' 处暴雨落区, 而 B' 处 $MPV'2 > 0$, 恰恰与此处的暴雨能配合。但是需指出的是, 用 $MPV1 < 0$ 与 $MPV'2 > 0$ 解释暴雨落区是否带有普遍性还有待于一定数量的样本进行试验。上述其它特征点的 $MPV2$ 和 $MPV'2$ 均为正值, 可以解释图2(a)中A、C附近的暴雨落区。值得注意的是在9月1日00时~9月1日12时当A、B中心消失之时, C中心却强烈发展。据分析, 该时段台风环流不但低层有冷锋侵入, 高层又与西风带槽前急流相互作用, 在此, 变压风也有明显的辐合(图略), 表明由于形势的调整带来了非地转的加强, 出现了大气不稳定性度的骤增。

从图1(b)、(c)和(b1)、(c1)中可以看出, 在这个时段里, 正当C处 $MPV1 < 0$ 的低值中心有明显加深之时, C^0 处 $MPV2$ 由非常强的正值转为负值, 这种演变与降水的趋势相反。实际上在这段时间里降水从山东半岛跨越到辽东半岛, 旅大至通化一线出现了日降水量100~200 mm的突发性暴雨(见图2(b)中C处的暴雨落区)。从9月1日00时至12时, C' 处 $MPV'2 > 0$, 并在12小时内明显增强, 这与图2(b)中C处辽东半岛一带暴雨的大体落区是一致的。这又一次表明, 在 $MPV1 < 0$ 的前提下用 $MPV'2 > 0$ 作为暴雨的判据优于 $MPV2 > 0$ 。

图1(a1)、(b1)中 A^0 、 B_2^0 、 C^0 , 图1(a2)、(b2)中 A' 、 B_2' 、 C' 、 C_2' , 是几个正值中心, 它们曾先后位于8月31日12时到9月1日12时的台风顶部, 锋区明显。 $\frac{\partial \theta}{\partial y} < 0$ 的地方, 也是实测风尤其变压风的垂直切变较大处, 所以也往往形成 $MPV2 > 0$, $MPV'2 > 0$ 的

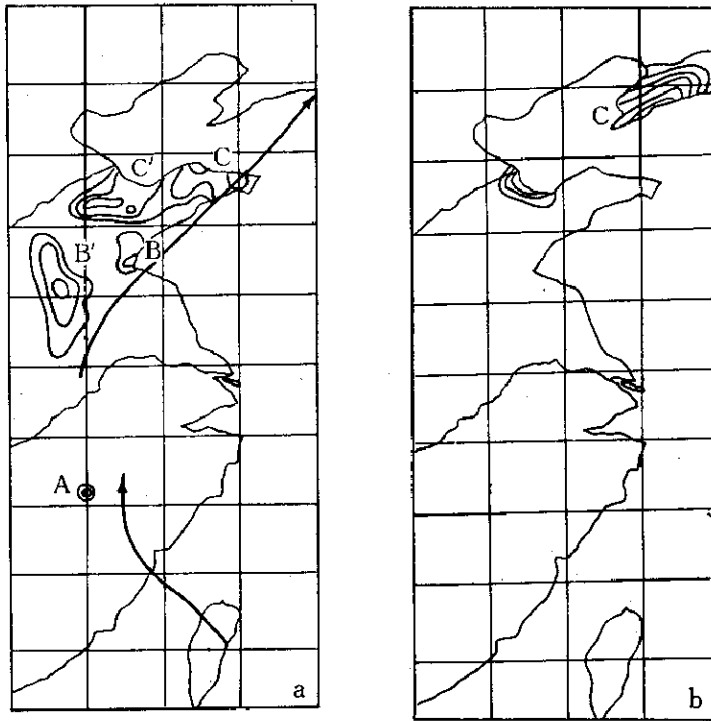


图 2 12 小时累积降水量(细实线代表等雨量线, 每个中心的最外围一条线为 50 mm, 向中心递增(间隔为 20 mm), 粗矢线代表台风路径) (a) 1992 年 8 月 31 日 12 时~9 月 1 日 00 时 (b)1992 年 9 月 1 日 00 时~9 月 1 日 12 时

Fig 2 12 hour accumulated precipitation (the outmost line of each center is 50 mm increasing at the direction to center (interval: 20 mm) the thick vector line represents the track of typhoon) (a) 12 : 00 31 Aug. ~00 : 00 1 Sept. , 1992 (b) 00 : 00~12 : 00 1 Sept. , 1992

中心. 它们与雨区的关系需看与 $MPV1$ 配合的情况. 如 B_2^0 、 B_2' 中心虽与 $MPV1 < 0$ 相呼应, 但因不在 $MPV1$ 的等值线的密集处, 该地没产生暴雨, 仅有较大降水. 从 8 月 31 日 12 时~9 月 1 日 00 时 12 小时演变来看, C_2' 处 $MPV'2 > 0$ 密集区与 $MPV1 < 0$ 密集区吻合之处都有暴雨或大暴雨, 如图 2(a)中 C' 处的山东淄博附近的暴雨落区.

通过上例分析认为在 850 hPa 上, 用 $MPV'2$ 代替原判据中的 $MPV2$ 解释暴雨落区效果较好, 具体条件是: 当出现 $MPV1 < 0$ 的低中心, 同时 $MPV'2 > 0$ 或 $MPV'2 > 0$ 的中心同时伴有 $MPV1 < 0$ 的密集区时, 则有区域性暴雨.

该例也对 700 hPa、500 hPa 作了 $MPV1$ 、 $MPV2$ 、 $MPV'2$ 的计算(图略), 用同一判据可对 B' 处暴雨作出解释. 但是区域性暴雨落区主要集中在符合上述 850 hPa 的判据范围内.

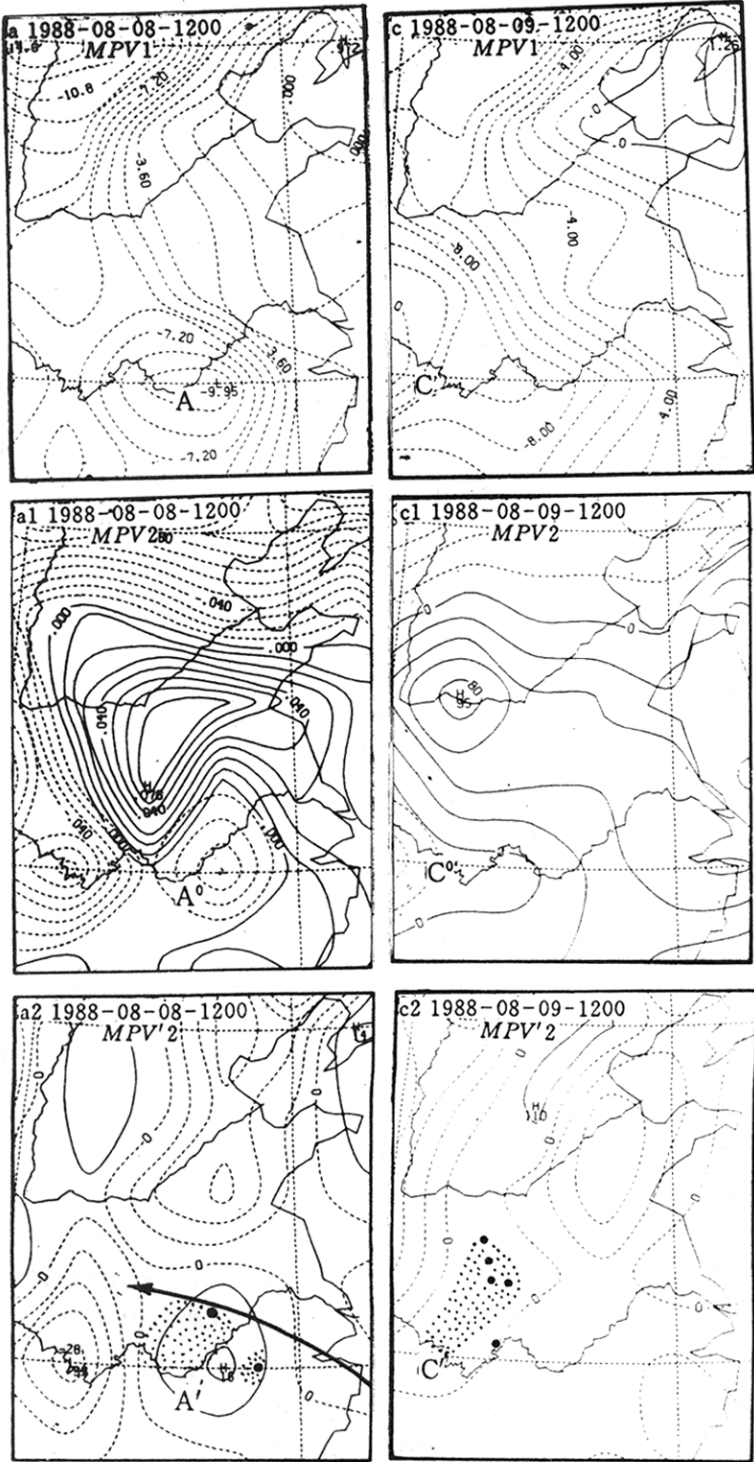


图 3 8807 号台风(说明同图 1)(矢量粗实线代表台风路径, 点区代表大降水警戒区(30 mm)其中大圆点表示暴雨落点)

Fig 3 As in Fig. 1 but for Typhoon No. 8807(thick vector line: typhoon track, dot area: the alerting zone of heavy rain, big dots: the torrential rain location)

3.2 例 2: 8807 号台风(Bill)

8807 号台风于 1988 年 8 月 7 日在浙江象山登陆, 于 9 日途经湖北、河南时, 暴雨增幅, 该例仅 1000~700 hPa 是对流不稳定的.

为节省篇幅, 本例以每日 12 时资料计算的 MPV_1 、 MPV_2 和 MPV'_2 与它前后 12 小时累计雨量的关系作对应分析.

对照图 3(a)、(c)与同一时次的图 3(a1)、(c1), 也分别对照图 3(a)、(c)与同一时次的图 3(a2)、(c2), 可以发现, 8 日 00 时~9 日 00 时的大降水(30 mm 以上)(见图 3(a2)点区)全部落在 8 日 12 时 A 处 $MPV_1 < 0$ 的低值中心周围和 A' 附近 $MPV'_2 > 0$ 的区域内. 9 日 00 时至 10 日 00 时的大降水(见图 3(c2)点区)也全部落在 9 日 12 时 C' 附近的 $MPV'_2 > 0$ 和 $MPV_1 < 0$ 的范围. 再仔细分析能够发现暴雨一般落在 $MPV_1 < 0$ 的密集区, 且 $MPV'_2 > 0$ 的地方. 只用 $MPV_2 > 0$ 与 $MPV_1 < 0$ 作为判据, 效果欠佳, 仅有个别暴雨落区能被解释. 对 700 hPa、500 hPa 也作了与上述同样的工作(图略), 其结果仍然是 850 hPa 的判据最佳.

其它西行类台风如 8510 号、8107 号与 8807 号台风的分布类型基本一致, 对暴雨落区的判据条件类同.

4 小 结

(1) 对几个结构不同、路径不同的台风所作的个例剖析认为, 登陆北上的台风, 大气对流不稳定的层次直到 300 hPa 或更高. 向四周伸展的 MPV_1 低中心或低值轴有多个, MPV_2 的高中心也有多个; 而西行类, 仅在低层大气是对流不稳定的, MPV_1 的低值中心主要有一个, 一般在台风倒槽或台风中心附近.

(2) 台风倒槽的顶部往往是东南风急流与东北风之间切变最明显的地方, 也是登陆台风与西风带系统相互作用最活跃的地方. 该处集中了对流不稳定、低层辐合、冷暖平流的交汇等现象, 常有新的中尺度、次天气尺度的扰动生成, 对暴雨发生发展极其有利.

(3) 登陆台风主要的暴雨区有两处, 一处是台风倒槽顶部, 一处是台风本体.

通过实例分析, 认为倾斜涡度发展理论提供的判据中 MPV_2 一项用 MPV'_2 代替, 可以提高对暴雨落区解释的能力, 这或许是因为避免了地转部分的计算可能造成的误差之故. 另外, 分析还指出, 在台风环流内, 当 $MPV_1 < 0$, $MPV'_2 > 0$ 时, MPV_1 的中心以及包围它的密集区是暴雨的警戒区, 在警戒区内 MPV_1 与 MPV'_2 的中心位置往往是区域暴雨的落区. 当 $MPV'_2 > 0$ 显著增强时, 则易产生突发性暴雨. 该实用判据虽为有限个例的总结, 但已涉及了 18 片区域台风暴雨落区, 解释率为 80%. 这为进一步建立台风暴雨落区预报方法提供了重要依据.

参 考 文 献

- 1 吴国雄. 倾斜涡度发展和暴雨. 海峡两岸天气和气候学术交流文集, 1994. 22~25.
- 2 吴国雄, 蔡雅萍, 唐晓菁. 湿位涡和倾斜涡度发展. 气象学报, 1995, 53(4): 387~405.

A STUDY ON THE CRITERION FOR INTERPRETING TYPHOON HEAVY RAIN LOCATION

Wang Shujing Zhou Liming

(*National Meteorological Center, Beijing 100081*)

Chen Gaofeng

(*Shaanxi Meteorological Observatory, Xian 710015*)

Abstract

Under the heavy rain criterion ($MPV1 < 0$ and $MPV2 > 0$), which are deduced from developing theory of slantwise vorticity, the several examples of landing typhoon with different tracks and structures have been interpreted on the heavy rain location. On the base of summing up the operational criterion, it is found that horizontal component of the wet potential vorticity $MPV2$ had better be replaced by the non-geostrophic component $MPV2'$ of it. Meanwhile, it is also mentioned that the top of typhoon inverted trough is the most active area of the typhoon interacting with westerly belt system, where the sub-synoptic scale and mesoscale disturbances appear frequently. Furthermore, it is shown that owing to rapid increasing of the vertical component of wet potential vorticity $MPV1$ and $MPV2'$, sudden heavy rain will probably happen in this area.

Key words: Slantwise vorticity Typhoon heavy rain Forecast criterion