

台风倒槽局地性强降雨分析

陈小芸 黄姚钦 炎利军

(广东省佛山市气象台, 佛山 528000)

摘要 通过分析 2002 年第 20 号热带风暴“米克拉”在广西南部沿海登陆后引发远离台风暴雨的台风倒槽暴雨, 以及强降水有关的物理量场的变化、风廓线仪和地面风场的脉动, 探讨了在台风倒槽与西风槽相结合处以强降水为主的强对流天气发生发展的环境条件。

关键词 台风倒槽 强降水 水汽输送 峰值

引言

2002 年 9 月 25 日 08:00(北京时,下同)第 20 号热带风暴“米克拉”在南海海面生成后,稳定向 NNW 方向移动,于 25 日 20:00 在海南崖县一带附近沿海登陆,并继续向 NNW 方向移动,26 日下午进入北部湾,然后加速向偏北方向移动,27 日 14:00 在广西南部沿海再次登陆后转向 ESE 方向缓慢移入广东廉江市,移入廉江市前已减弱为热低压。

受热带风暴“米克拉”倒槽及青藏高原东侧东移的西风槽共同影响,27~28 日,佛山和广州出现了暴雨。27 日 08:00 到 28 日 08:00 降水量:佛山 100.6 mm、广州 90.2 mm,佛山城区 7 个自动站的平均日雨量 72.1 mm,佛山自动站测得 1 h 最大降雨量 35.2 mm,6 h 降雨量 74.5 mm。强降水集中出现在 27 日下午到夜间,历时短并且范围小,强度高,致使佛山市“水浸街”以及交通受阻。

以往大量研究表明:在我国暴雨天气中,台风是最强的暴雨天气系统。根据卫星云图分析:台风暴雨除台风环流本身暴雨、台风眼外围螺旋云带暴雨外,台风(低压)倒槽与西风槽结合而产生的暴雨,往往比台风环流暴雨强得多。当以台风受西风槽影响为主时,暴雨主要发生在台风(低压)环流附近;而以西风槽受台风环流影响为主时,暴雨则主要发生在西风槽底附近。本文通过分析青藏高原东侧的西风槽东移过程中受到热带风暴“米克拉”倒槽影响,引

起远离台风暴雨的台风倒槽暴雨,以及暴雨区物理量场的变化,探讨台风倒槽与西风槽相结合处以强降水为主的强对流天气发生发展的环境条件,加深对台风倒槽暴雨的认识。

1 环流形势演变和热带风暴东折

9 月 25 日受西风槽东移影响,副热带高压分裂成两环,西环位于中南半岛,这一环副热带高压很深厚,在 200 hPa 的天气图上是一个闭合高压环流,呈椭圆状,南北走向;东环位于西太平洋及华南沿岸,呈带状,东西走向,脊线位于 20°N 附近。25 日 08:00 在两环高压之间的低压区形成的热带风暴“米克拉”,由于西环副热带高压东侧偏北下沉气流的阻挡,只能在东环热带高压西南侧的东南气流引导下稳定向 NNW 方向移动。26 日西环副热带高压稳定少动,东环副热带高压中心位于南海中部,强度略有加强,西侧的偏南气流也相应增强,使得“米克拉”在东环副热带高压西侧的偏南气流引导下,加速向偏北方向移动,27 日 14:00 在广西南部沿海再次登陆。于是,在北部湾到粤西之间形成了明显的台风倒槽(图 1)。与此同时,青藏高原的西风槽东移,槽后的冷空气流入倒槽区内,而槽前的西南气流也获得了加强,该槽前的西南气流则自南海上空携带大量的暖湿空气北上。26 日地面图(图略)上,弱冷高压脊位于华东,东高西低,弱冷空气从东路向广东渗入;而 850 hPa 华南沿岸吹南到东南风。这样,在珠

江三角洲地区形成了上暖湿下湿冷的深厚湿层,为暴雨区积累了大量的水汽。27 日西环副热带高压脊线略南压,这样西风带也跟着南压,“米克拉”在广西南部沿海登陆后,接近了西风带。受到西风带偏西气流的引导,再次登陆后从原来的 NNW 移动方向转向 ESE 方向移动,由于冷空气入侵,强度亦开始减弱,移入廉江前减弱为热低压。随着“米克拉”北上并且向东扩展,增强了其与东环副热带高压之间的气压梯度力,沿海上空的西南气流随之得到增强,27 日 08:00 低层 850 hPa 西南急流迅速建立,高原东侧的西风槽也进一步东移(图 1),槽后的冷空气不断地流入珠江三角洲地区,27 日 20:00 左右,台风倒槽与西风槽在佛山、广州附近交汇,引起了远离台风暴雨的台风倒槽暴雨,倒槽暴雨出现在倒槽与西风槽相结合处。从下午的卫星云图上也看到,台风暴雨位于台风所在位置附近,即海南岛、广西南部沿海及广东的粤西地区,而远离台风暴雨的佛山、广州附近有中尺度对流云团生成、发展。中南半岛副热带高压东部的偏北气流和太平洋副热带高压西侧的偏南气流不利于位于两环高压之间气旋性环流的减弱,因此热带风暴“米克拉”从生成直到最后移入廉江之前强度基本维持不变。对流层下部台风倒槽前西南气流的增强及西风槽后冷空气的入侵是造成台风倒槽强降水的重要原因之一。

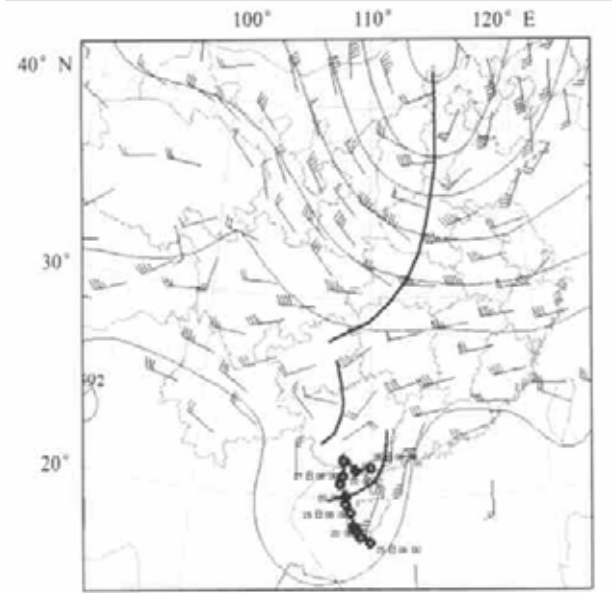


图 1 9 月 27 日 08:00 500 hPa 形势及“米克拉”移动路径叠加图

2 强降水的热力条件

2.1 假相当位温 θ_{se} 场分析

以 $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial p}$ (即 $\Delta \theta_{se} = \theta_{se500} - \theta_{se850}$) 表示大气对流稳定度,当 $\Delta \theta_{se} > 0$ 时为稳定层结, $\Delta \theta_{se} < 0$ 时为不稳定层结。假相当位温随高度增加减小得越快,气层的对流不稳定性越强,即 $\Delta \theta_{se}$ 负值越大,则气层越不稳定。从广州 25 日 08:00 $\Delta \theta_{se} = 1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,到 27 日 08:00 $\Delta \theta_{se} = -4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的变化趋势来看,珠江三角洲地区的大气层结随着台风倒槽的建立由稳定层结转为不稳定层结,不稳定能量的剧增,有利于暴雨的发生。以 850 hPa θ_{se} 表示低层热力(湿度)的输送条件,分析 26 日 08:00 850 hPa θ_{se} 图(图略)看到,有一明显湿舌自南海经粤西伸向广东的中部,粤西地区有 $74\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高能中心,华南地区为高能舌区,佛山、广州位于 $\theta_{se} \geq 66\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高能舌区内,而且高能舌进一步向东北方扩展,27 日 08:00 广州附近 θ_{se} 增大到 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, (符合 $\theta_{se} \geq 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 产生暴雨的条件),低层高温、高湿的条件为佛山、广州附近的强降水积累了充分的能量。另外,阳江到广州之间的 θ_{se} 梯度变化(表 1)显示,在低层 850 hPa 热力(湿度)条件逐渐增强,阳江到广州的西南暖湿带十分强盛;阳江到广州之间的梯度变化也表明,广州附近的斜压性也在逐渐增强,27 日 08:00 为 $-2.5\text{ }^{\circ}\text{C/hm}$,达最大值,斜压性的增强就很容易引发强降水的发生,暴雨中心则位于 θ_{se} 梯度最大,即斜压性最强的地方,由此可见, θ_{se} 的高能区和梯度是同等重要的。

表 1 850 hPa $\Delta \theta_{se}$ 梯度 $^{\circ}\text{C/hm}$

	25 日 08:00	26 日 08:00	27 日 08:00	28 日 08:00
$\Delta \theta_{se}$	2.8	3.2	-2.5	0.2

注: $\Delta \theta_{se} = \theta_{se\text{阳江}} - \theta_{se\text{广州}}$

2.2 K 指数、沙氏指数及不稳定能量

分析各个时次 K 指数分布图(图略)可知,在暴雨发生前,广州西南方是高能中心,该高能区沿着西南气流向东北扩展,广州及其附近地区的 K 指数逐渐增大,26 日 20:00、27 日 08:00、27 日 20:00 K 指数分别为 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $39\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。K 指数的增长,为暴雨区积累了充足的能量。

从广州不稳定能量(EK)的变化(表 2)可以看到,随着台风倒槽的建立,槽前西南气流加强,不稳

定能量逐渐上升,27 日 08:00 EK 剧增为 155.5 J,下午强降水开始,随着不稳定能量释放和西风槽继续东移,上半夜暴雨结束,不稳定能量也随着下降到

负值。不稳定能量的增长比暴雨出现的时间提前,对暴雨预报有一定的参考性。

表 2 广州站不稳定能量(EK)和沙氏指数(SI)及比湿 q

	不稳定能量/J	沙氏指数/℃	$q_{\text{地面}}/(g \cdot kg^{-1})$	$q_{925}/(g \cdot kg^{-1})$	$q_{850}/(g \cdot kg^{-1})$	$q_{700}/(g \cdot kg^{-1})$	$q_{500}/(g \cdot kg^{-1})$
26 日 08:00	- 1337.5	3.2	15.64	14.24	13.61	9.66	3.50
26 日 20:00	6.7	- 1.1	18.85	15.08	13.53	9.66	4.26
27 日 08:00	155.5	- 2.8	18.96	16.07	13.61	9.01	4.26
27 日 20:00	- 984.4	0.7	18.92	16.07	13.61	10.39	4.51
28 日 08:00	- 1393.8	2.8	15.64	12.48	13.61	9.66	3.88

从表 2 也可以看到,广州站 26 日 08:00 开始,沙氏指数 SI 逐渐减小,27 日 08:00 达最小值 - 2.8℃,表明广州附近 27 日气层变得很不稳定,有利于强对流天气的发生。另外,27 日 08:00 沙氏指数分布图(图略)显示,广东省内只有广州站沙氏指数是负值,因此,强对流天气具有局地性。

2.3 深厚的湿层

充沛的水汽是暴雨产生的必要条件。从 27 日 14:00 水汽云图(图 2)看到,源自北部湾西南走向的大量水汽在广州、佛山附近汇合,为暴雨区提供了大量水汽来源。另外,广州站比湿的垂直分布(表 2)表明,水汽主要集中在 850 hPa 以下,从地面向上递减。暴雨发生前 36 h,地面和近地层 925 hPa 比湿急增,高比湿一直持续到暴雨结束才下降;850、700hPa 在整个暴雨过程也保持了高比湿;而 500 hPa 的比湿在暴雨前 36 h 也急增,在暴雨期间保持近饱和比湿。低纬度地区水汽分布差异较小,水汽的辐合主要取决于风场。地面及对流层低层 925、850 hPa 充沛的水汽主要是由台风倒槽前的西南气流将南海上空的暖湿气流源源不断地输送到华南,未来暴雨区的低层增温增湿,为暴雨的发生累积了大量的不稳定能量;而中、高层 700、500 hPa 的水汽则主要是由于东环副热带高压西北部的西南气流将南部沿海上空的水汽向广东输送,为未来暴雨区提供了充足的水汽,保证了暴雨区深厚湿层的水汽来源。

2.4 温度场的分布

分析 500 hPa 等温图(图略)看到,26 日自北部湾经粤西有一暖舌伸向广东中部,随着高原小槽东移,槽后引导的冷空气南下影响华南,27 日 08:00,有一冷舌自贵州经广西东北部伸向广东中部,致使广州站 24 h 气温由 - 5℃降到 - 7℃,阳江到广州之间的温度梯度由 1.2℃/hm 剧增为 3.5℃/hm,从而使广东中部的锋区强度增大。而低层 925、850 hPa 26、27 日一直维持有

一暖舌自北部湾和南海西北部上空向东北伸展到整个华南区域。由此看到,26 日 500 hPa 以下,广东省处于暖区控制,而 27 日由于西风槽后引导的冷空气南侵,使未来暴雨区上下一致的暖区遭受到破坏,500 hPa 广州附近锋区的加强引起的扰动下传以及西风槽移近未来暴雨区,槽前的辐散逼使低层辐合,对流层下部高温、高湿的西南气流被强迫抬升,触发不稳定区对流的产生发展,从表 2 不稳定能量 EK 值的逐日变化看出,27 日 08:00 EK 值达最大,下午对流开始产生,20:00 EK 值急降,由于不稳定能量的释放,加快了对流的垂直上升速度,从而产生强对流天气。而在降水期间,整个对流层保持充足的水汽来源,深厚的湿层极有利于以强降水为主的强对流天气的产生。

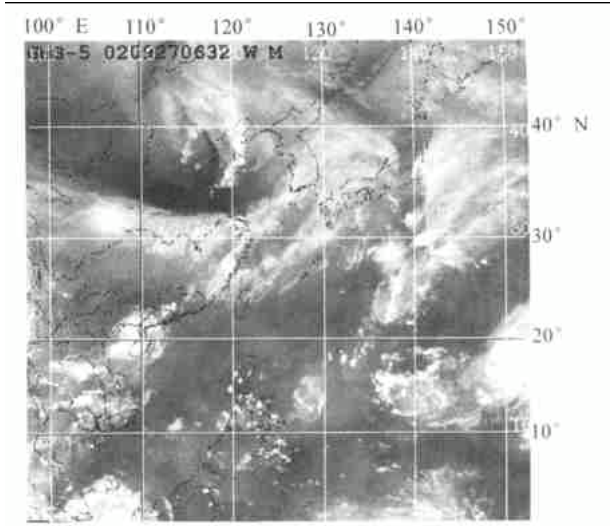


图 2 9 月 27 日 14:00 水汽云图

3 动力条件

3.1 垂直速度

为了了解发生强降水时段大气的垂直速度,本

文利用降水量推算大气的垂直速度。根据静力方程 $dp = -\rho g dz$ 及关系式 $\frac{dq_s}{dt} = \frac{dq_s}{dp} \cdot \frac{dp}{dt} = \omega \frac{dq_s}{dp}$ 得到整层大气平均垂直速度 $\omega = -\frac{I}{q_s} g$, 其中 I 为降水强度(单位时间内降在单位面积上的总降水量), q_s 为地面饱和比湿。最大雨强 $I = 35.2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, 得到整层平均垂直速度 $\omega = -5.2 \times 10^{-2} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 最大垂直速度 $\omega = -8.2 \times 10^{-2} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 说明强降水发生时, 气层内上升气流十分强烈。

3.2 风廓线仪资料特征

这次暴雨区主要在佛山、广州附近, 与香港的风廓线仪相距约 150 km。虽然风廓线仪所测资料仅代表风廓线上空的大气情况, 但是暴雨是在一定的天气尺度背景条件下产生的, 因此香港的风廓线资料(图3)完全可以说明当天的天气背景情况。

从图3可以看到, 27日上午2000 m以下风场较一致, 雷达回波显示, 只在广东西北部有些弱的零散降水回波不断生消, 上午佛山、广州只有微量降水。14:00近地层的风向突然逆转 60° , 上下层形成切变, 14:30云图显示在佛山附近有对流云团生成, 云顶温度 -30°C , 对应雷达回波在佛山西南侧触发对流单体, 发展并且很快向东北方向移动影响佛山, 13:00~14:00, 佛山台记录到1 h降雨 9.8 mm, 15:00风廓线显示2000 m以下风场的风向一致, 影响佛山的回波减弱, 16:00近地层又出现风向逆转, 佛山附近的降水回波再次加强, 云图上显示中尺度云团云顶温度下降到 -50°C , 16:00~17:00, 佛山台记录到1 h降雨 18.2 mm, 17:00从地面到2000 m高空风向又转为一致, 雷达回波显示, 影响佛山的降水回波减弱、消失, 其它降水回波主要位于广东的西北部, 云图显示佛山、广州云层变薄, 广州以南大部分地方为晴好区, 17:30左右佛山降水停止, 出现了短暂的雨过天晴。由于已出现强降水以及转晴的缘故, 17:30解除暴雨预警信号, 但18:00~21:00, 地面到1000 m风向又突然逆转, 东南风转为东风, 风力由 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 增大到 $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 1000 m到2000 m风向由西南风急转为偏北风, 对流运动剧增, 18:00云图显示, 佛山附近又有中尺度云团生成, 云顶温度 -60°C , 相应18:18在佛山西南侧又触发新的对流单体并很快东移, 18:36左右影响佛山, 佛山又下雨, 对流单体在佛山发展、加强, 并且在其移动方向不断

触发新的对流单体、合并, 成为单体群, 向东北扩展影响广州市, 19:00~20:00, 佛山1 h雨量为 35.2 mm。22:00 2000 m以下风场一致, 降水回波减弱, 佛山的降雨渐趋结束。因此常规的探空资料和风廓线仪密集的测风资料配合使用, 有助于对强对流天气的发生、发展的监测。

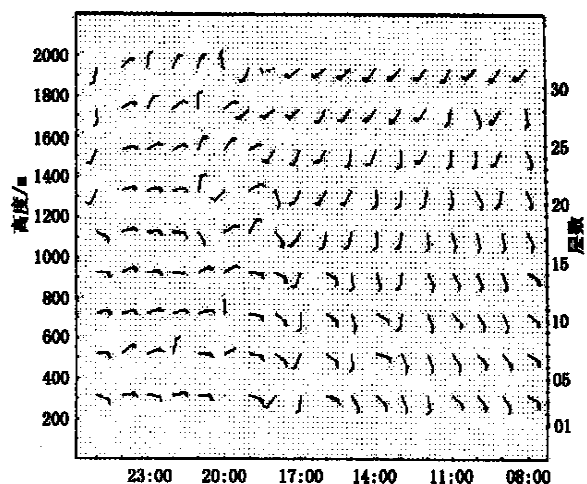


图3 香港风廓线仪27日08:00至28日01:00
2000 m高空剖面图

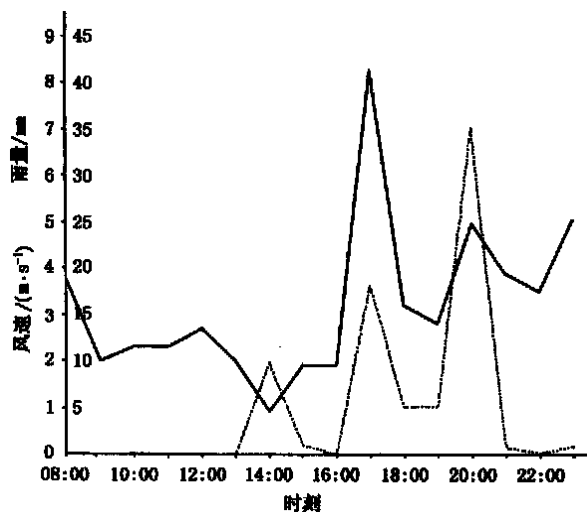


图4 佛山台自动站风速逐时变化曲线与降雨峰值比较
(实线代表风速, 虚线代表雨量)

3.3 地面风场

地面风场的脉动对强降水的触发作用也十分明显。从27日08:00~23:00佛山台自动站风速逐时变化曲线与降雨峰值比较(图4)可以看到, 风速峰值较降雨峰值提前2~3 h出现, 也就是次雨峰出现时伴随的最大风速将会触发更大的雨峰出现, 说明

地面风速的脉动对暴雨有着激发作用。由于风速峰值较雨峰值提前出现,因此,当风速增长到高峰时,可预期短期内有雨峰出现的可能,对暴雨预警讯号的发布有一定的参考价值。

4 小结

(1) 本文分析的个例是一次台风倒槽暴雨。由于台风倒槽前西南气流急增及西风槽东移,高空槽后的冷空气对低层高温、高湿的西南气流强迫抬升,造成不稳定区强对流天气的发生、发展,暴雨就发生在台风倒槽与西风槽相结合,气层由稳定层结转变为不稳定层结,不稳定能量急增,斜压性最强的地方。

(2) 深厚湿层源源不断的水汽输送是强降水为

主的强对流天气的必要条件。

(3) 局地性的强对流天气必须依靠较短时间间隔的云图和雷达才能捕捉到;风廓线仪密集的探空资料有助于对强对流天气监测;地面风速的峰值较雨峰提前出现,对暴雨预警讯号的发布有一定的参考价值。

参考文献

1 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理和方法. 北京:气象出版社,1992
2 张兴强,丁治英,王焱. 高空急流与中纬度系统影响下台风暴雨的研究现状. 气象,2001,27(8):3-8
3 徐海明,何金海,周兵. 夏季长江中游大暴雨过程中天气系统的共同特征. 应用气象学报,2001,12(3):317-326

Local Heavy Rainfall Influenced by Typhoon Reverse Trough

Chen Xiaoyun Huang Yaoqin Yan Lijun

(Foshan Meteorological Observatory, Guangdong Province, Foshan 528000, China)

Abstract: Investigation was conducted on a heavy rain influenced by the typhoon inverted trough of the tropical cyclone “Mekkhala”(2002), which landed the southwestern Guangxi Province. The relevant changes of physical variable fields and wind profile and the fluctuation of surface wind fields are analyzed. The environmental conditions for the strong convection that caused local heavy rainfall around the area where the typhoon inverted trough and the westerly trough joined are discussed in detailed.

Key words: typhoon inverted trough, heavy rainfall, vapor transport, peak value