

魏蕾,张兰. 2018年“05.07”广州暴雨过程诊断分析[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(3): 72–78.

Wei Lei, Zhang Lan. Analysis of the torrential rain in Guangzhou on may 7, 2018 [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2020, 41(3): 72–78.

2018年“05.07”广州暴雨过程诊断分析

魏蕾, 张兰

(广州市气象台, 广州 511430)

摘要: 利用 ECMWF 每 6h 一次 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ 再分析资料和常规探测资料, 采用天气学诊断分析方法, 对 2018 年 5 月 7 日广州暴雨过程进行了分析。结果表明: (1) 高层疏散槽、中层西风槽前与低空西南大风区为暴雨的形成和加强提供了环境条件, 暴雨落区北界与西南大风区北界对应较好; (2) 此次过程为锋面低槽降水, 暴雨之前及期间广州上空中层干冷中心的存在造成中层持续有干冷空气入侵, 可能是此次锋面低槽降水的一个触发机制; (3) 暴雨发生前水汽急剧辐合, 暴雨结束前水汽率先辐散, 上升运动峰值超前于降水峰值出现, 对暴雨预报有一定的指示性; (4) 湿位涡对这次暴雨预报有较好的参考价值。

关键词: 暴雨; 低空西南大风区; 锋面低槽; 中层干冷中心; 湿位涡

中图分类号: P458.1+21.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2020.3.13

OSID:



广东省具有平均年雨量大、暴雨日数多、汛期时间长的特点^[1-4], 前汛期(4—6月)北方冷空气势力逐渐减弱, 但仍然能频繁南下侵入广东, 同时随着西太平洋副热带高压北移, 夏季风开始活跃, 将热带洋面的热量和水汽向华南输送, 二者激烈交锋, 致使前汛期成为广东的暴雨集中期和强对流天气的多发期, 常导致局地性山洪爆发、泥石流和山体滑坡等地质灾害, 也可导致江河水位上涨和严重的暴雨洪涝, 造成严重威胁和巨大损失^[1,5-7]。

华南前汛期暴雨因发生发展机理的复杂性而备受重视^[8-10]。王坚红等^[11]采用合成分析等方法, 得出前汛期广东北部暴雨区受西风带系统影响为主, 暴雨中尺度系统为气旋及变形场锋生, 而沿海暴雨区受副热带系统控制为主, 中尺度系统主要为低空急流、输送气旋式切变和旋转涡度及低空速度辐合。张焱^[12]研究了华南前汛期暴雨的时空变化, 表明西太平洋副热带高压、东亚大槽、极涡以及南亚高压的强弱和位置与华南前汛期暴雨有密切关系。高亭亭等^[13]探讨了广州前汛期暴雨的气候特征, 发现广州暴雨偏多的年份, 副热带高压的位置均是偏西, 利于广州

上空的水汽输送, 而东北冷涡偏强, 利于北方冷空气向南爆发, 冷暖空气交汇多, 有利于广州暴雨的发生。陈嘉玲等^[14]通过对 80 年代以来广州暴雨过程天气形势分析, 总结归纳出了各层可能产生暴雨的系统及特征。以上成果为暴雨预报提供了参考依据, 然而对前汛期暴雨预报而言, 作用仍然是有限的。因此, 探讨 2018 年 5 月 7 日广州暴雨过程发生机制和特点, 为前汛期暴雨预报提供参考十分必要。

1 资料和方法

1.1 资料

本文所用资料为 ECMWF 发布的全球再分析资料和常规探测资料。其中, ECMWF 再分析资料包括水平分辨率为 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ 、时间分辨率为 6h 的水平风(u, v)场、垂直速度(ω)场、位势高度(Φ)场、海平面气压(p)场、气温(t)场和比湿(q)场, 常规探测资料包括广州市自动站的小时雨量、极大风速等数据。

1.2 湿位涡的定义和计算

湿位涡是一个综合反映大气动力学、热力学性

收稿日期: 2020-01-13

基金项目: 广东省气象局科学技术研究项目(GRMC2019M25)、广州市气象部门科学技术研究项目(201910)

作者简介: 魏蕾(1991—), 女, 硕士, 助理工程师, 主要从事天气预报技术研究。E-mail: 447247631@qq.com

质的物理量,而且还考虑了水汽的作用,它的分布能很好地表征大气的对流稳定性和斜压稳定性。在绝热无摩擦的大气中,若引入静力近似,并假设垂直速度的水平变化比水平速度的垂直切变小得多,则 P 坐标系中的湿位涡可以近似表示为:

$$MPV = -g(\zeta_p + f) \frac{\partial \theta_{se}}{\partial p} + g \left(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial y} \right) \quad (1)$$

式(1)右边可分为两项之和,分别为湿正压项(MPV1)和湿斜压项(MPV2),其中:

$$MPV1 = -g(\zeta_p + f) \frac{\partial \theta_{se}}{\partial p} \quad (2)$$

$$MPV2 = g \left(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial y} \right) \quad (3)$$

式中 θ_{se} 为假相当位温, ζ_p 为垂直方向的涡度, f 是地转涡度, MPV 的单位为 PVU ($1\text{PVU} = 10^{-6} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$)。MPV1 为湿位涡的垂直分量,其值取决于大气绝对涡度和假相当位温垂直梯度的乘积,因为绝对涡度是正值,所以当大气为对流不稳定时, $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial p} >$

0, 故 $MPV1 < 0$; 若大气为对流稳定时, $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial p} < 0$, 故 $MPV1 > 0$; MPV2 是湿位涡的水平分量, 它的数值由风的垂直切变和 θ_{se} 的水平梯度决定, 风的垂直切变增加或水平湿斜压的增加, 均能因湿等熵面的倾斜而引起垂直涡度的增长。

2 “05·07”暴雨过程简述

2018 年 5 月 7 日白天至 8 日早晨, 广东省大部分市县出现了对流性强降水, 其中广州市在 7 日下午至夜间从北到南普降暴雨局部大暴雨, 全市平均面雨量为 59.3mm, 共有 266 个站点 (占总数的 64%) 雨量超过 50mm, 26 个站点 (占总数的 6%) 雨量超过

100mm; 最大累积雨量出现在黄埔区九龙镇金坑村, 为 166.1mm, 同时该站也在 7 日 18 时录得最大小时雨量 98.2mm; 大暴雨区主要集中在黄埔区中南部、增城区西南部和天河区东北部。同时伴有 6~9 级局部 10~11 级的大风和强雷电, 增城区气象局站在 7 日 17 时录得全市最大风速 $31.5 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (11 级)。此次过程降水覆盖面广、雨强大, 且雨强最大的时段对应着瞬时风也最强, 是一次典型的短时强降水伴随着雷电大风的前汛期暴雨过程。

3 天气形势分析

3.1 中高层大气环流场的演变

5 月 7—8 日, 200hPa (图略) 南亚高压稳定维持在中南半岛附近, 30°N 附近有高空槽自云贵高原东移南压, 广州地区处于疏散槽控制下, 尤其在 7 日下午至傍晚, 随着高空槽的移近, 气流辐散最为明显。

500hPa (图略) 中高纬为两槽一脊环流型, 低纬华南地区受西风槽槽前西南气流和正涡度平流影响, 为暴雨的发生和加强提供了有利的动力背景条件。此外, 随着西风槽的东移, 带状副高逐渐减弱南落并断裂为东西两环, 致使广州地区上空的位势高度下降, 大气层结的不稳定度得以增强, 有利于降水发展。

3.2 低层大气环流场的演变

低层风场的时空演变表现为切变线和切变线南侧的西南大风区 (风速 $\geq 8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的区域) 同步南压影响广州 (图 1), 而西南大风区南压速度快于切变线。7 日 08 时, 850hPa 切变线位于南岭北侧, 以南为风速在 $12 \sim 14 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的西南急流; 14 时切变线移至粤北, 西南大风区北界移至广州北部, 广州地区降水从

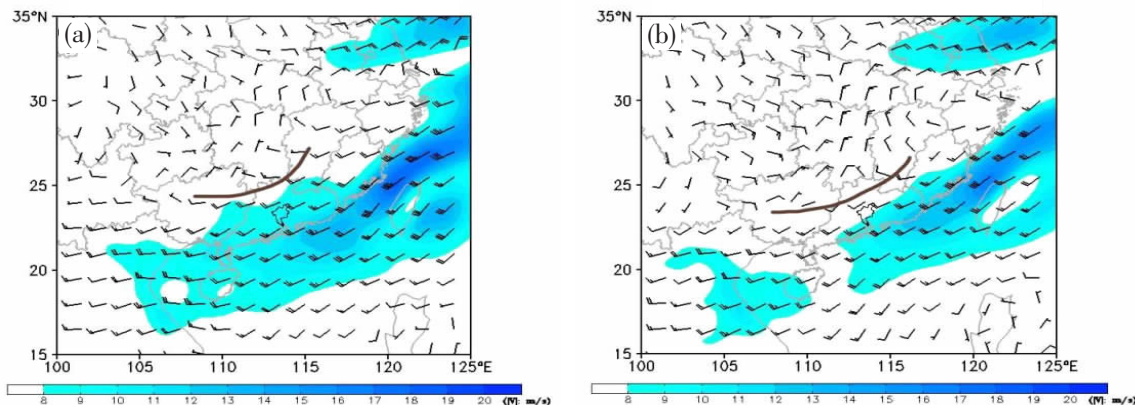


图 1 5 月 7 日 14 时 (a) 和 20 时 (b) 850hPa 风场
(棕色曲线为 850hPa 切变线)

北部开始,之后随着西南大风区南压,降水逐渐向南发展;20 时切变线到达粤北的南部,而西南大风区北界已南压至广东南部,对应此时广州南部的番禺、南沙区降水仍然明显,而广州中北部地区的降水已经显著减弱;20 时以后,切变线快速南下减弱,西南大风区也进一步减弱南压至海上,整个广州地区上空逐渐转为偏北气流控制,降水趋于结束。分析表明在此次暴雨期间,广州始终处于切变线以南较远的地方,但暴雨落区与西南大风区前端的位置配合较好,大风区北界即为暴雨落区的北界,这可为广州前汛期暴雨落区预报提供参考。

3.3 地面形势场的演变

暴雨发生前,广东较长时间处于强烈发展的地面低槽中,有利于不稳定能量充分累积和不稳定层结的建立。7 日早晨开始,西路弱冷空气南下,锋面位于南岭附近,14 时(图 2a)前后到达粤北北部,趋于稳定少动,广州地区从 7 日下午至夜间始终处于锋面以南较远的低槽区内,形成锋面低槽系统配置;20 时以后,即暴雨后期,锋面才开始快速南压,于 8 日凌晨(图 2b)到达广东沿海,广州地区逐渐转为锋后偏北风和正变压控制,降水趋于结束。

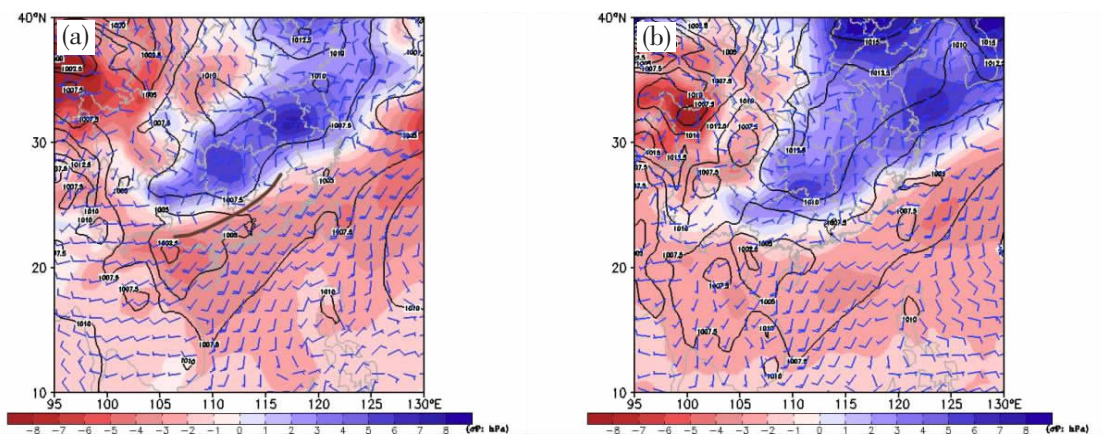


图2 5月7日14时(a)和8日02时(b)10米风场(风向杆)、海平面气压场(等值线)及其24小时变压场(填色区)(棕色曲线为地面锋面)

4 物理量场时空演变分析

4.1 暴雨触发机制的可能性分析

这次过程属于锋面低槽系统降水,与典型的锋面过境抬升触发降水有所不同。图3为假相当位温在不同时次沿 113.4°E 经降水中心的高度-纬度剖面,用以探讨本次降水过程可能的触发机制。图中显示,7日02时,锋面位于 27°N 附近,锋区随高度向北倾斜,而锋区上空600hPa附近有干冷区向南伸展;08时,锋面略有南压,中层干冷区也南下加强,出现了一个干冷中心,强度在332K以下,且这个干冷区的南下速度快于地面锋面,08时已经到达 23°N 附近,即在广州地区暴雨发生之前,中层已有干冷空气的入侵;随后锋面继续缓慢南下,中层干冷中心的南下速度也显著变慢,7日下午至傍晚,锋面较为稳定的维持在 25°N 附近,广州一直处于锋前,而干冷中心也始终在广州上空维持,即中层持续有干冷

空气入侵;20时,中层332K的干冷中心南下至 22°N 附近,离开广州区域,广州上空的干冷区强度有所减弱;随着锋面的进一步南压,锋后冷空气从底层开始逐渐渗透到达广州地区,广州低层渐转偏北风,降水趋于结束。以上分析显示,中层的干冷中心先于锋面影响广州,带来持续干冷空气入侵,可能是导致这次暴雨发生发展的触发机制。

4.2 水汽条件

分析整层水汽输送通量及通量散度可得,这次过程的水汽来源主要为南海和北部湾,水汽辐合伴随着低层切变线和西南大风区的移动而自北向南传播(图略),水汽通量散度的变化主要发生在500hPa以下,即大气中的水汽及其输送主要集中在对流层下半部。为进一步揭示水汽通量散度对于暴雨发生发展的意义,以广州区域($112.9^{\circ}\sim 114^{\circ}\text{E}$, $22.4^{\circ}\sim 24^{\circ}\text{N}$)作面积平均,了解其上空整层水汽通量散度随时间的变化(图4)。可以看出,7日08时到14时,广州

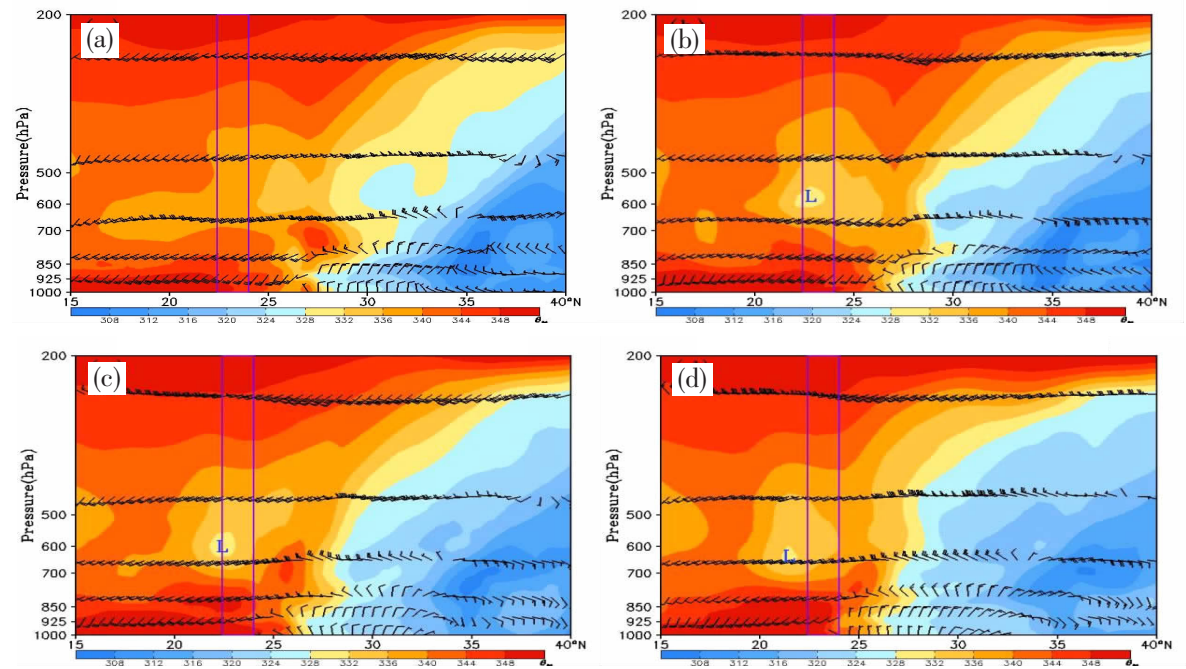


图3 5月7日02时(a)、08时(b)、14时(c)和20时(d)假相当位温(填色区)沿113.4°E的纬度-高度剖面(紫色方框为广州地区(22.4°~24°N))

地区低层由水汽辐散逐渐转变为水汽辐合,表明在暴雨发生之前开始有水汽不断向广州地区汇聚。直至7日20时,广州地区上空始终存在着强的水汽辐合,最强时达 $-3.5\times10^{-7}\text{g}\cdot(\text{hPa}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s})^{-1}$ 以上,同时水汽辐合层的厚度有所下降,表明因暴雨的发生发展而消耗了大量的水汽,但低层尤其是925hPa及其以下水汽辐合的强度却在不断增强,显示有更强盛的水汽汇集来维持暴雨的发生发展。7日20时以后,广州地区低层的水汽辐合强度开始减弱,并逐渐转为水汽辐散;8日02时,广州地区低层为显著的水汽净流出,预示着暴雨过程减弱和结束。

4.3 动力条件

强烈的上升运动是暴雨形成和发展不可或缺的条件之一。由广州区域(112.9°~114°E,22.4°~24°N)平均散度的时间-高度剖面(图略)可知,7日08时,925hPa以下有一个弱的散度正值中心,随后该中心强度不断减弱,并逐渐转为负散度场,即在暴雨发生之前,低层开始不断有辐合气流出现。7日14时至20时,低层负散度值不断增大,气流辐合不断加强,其中在7日傍晚,低层辐合达到最强,中心值达 $-2\times10^{-6}\text{s}^{-1}$ 以上;而在低层辐合加强的过程中,200hPa及其以上的高层正散度也在不断增大,表明高层有气流辐散的维持和加强,并在7日傍晚出现 $2\times10^{-6}\text{s}^{-1}$ 以上的散度正值中心,与低层的负散度中心相配合,对应着暴雨最强烈时段。7日20时以后,低层辐合逐渐减弱,降水趋于减弱与结束。

7日14—20时,广州区域(112.9°~114°E,22.4°~24°N)平均垂直速度的时间-高度剖面(图5)显示,广州地区上空整层为上升运动,并在850hPa附近最大,即高层强大的辐散环境能够加强低层辐合和垂直上升运动,而强盛的上升运动能够将低层辐合的水汽持续向高层输送,导致对流异常活跃,暴雨持续发展。此外,低层垂直上升运动峰值出现的时间较降水峰值出现的时间提前了2~3h,因此垂直上升运动对于暴雨的预报也有一定的提前量和指示意义。7

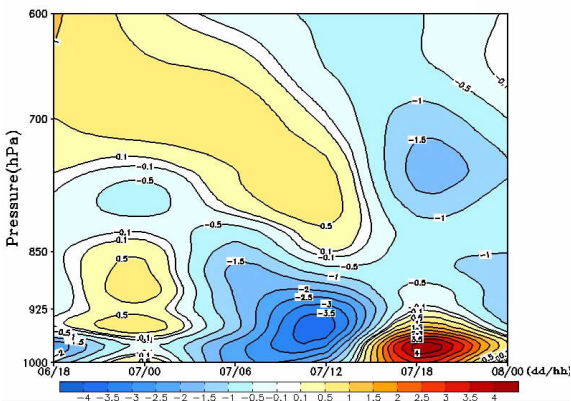


图4 广州区域(112.9°~114°E,22.4°~24°N)平均的水汽通量散度随时间的变化(横坐标时间为世界时)

日 20 时以后,由于锋面冷空气入侵,层结趋向稳定,低层的垂直上升运动减弱,开始出现下沉运动;8 日 02 时,广州上空低层已出现弱的正速度中心,降水减弱结束。

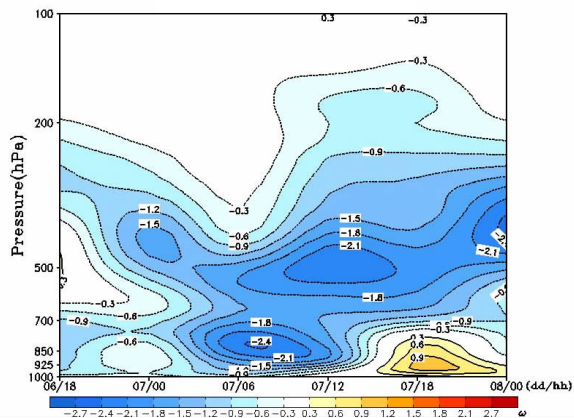


图 5 广州区域 (112.9°~114°E, 22.4°~24°N) 平均的垂直速度随时间的变化
(横坐标时间为世界时)

4.4 热力和不稳定条件

暴雨的形成必须具备一定的动力、热力和水汽条件,而湿位涡正好是反映三者的综合物理量,与暴雨产生的条件相吻合,因此利用湿位涡的演变特征能够更全面、有效地描述暴雨的发生发展^[11,15-18]。

图 6a 为广州区域 (112.9°~114°E, 22.4°~24°N) 平均的 MPV1 的时间-高度剖面。7 日 08 时至 8 日 02 时,广州地区上空 550hPa 以上为 MPV1 正值区,表明对流层高层是对流稳定的;而 550hPa 以下始终为 MPV1 负值所控制,即在整个暴雨过程中,广州地区的中低层大气一直处于对流不稳定状态,且中低

层的负 MPV1 强度不断加强,并于傍晚左右在 800hPa 高度附近出现一个 MPV1 负中心,强度达 -0.36PVU 以上,对应着暴雨发生发展的集中时段和最强时段。7 日 20 时以后,广州地区上空低层的负 MPV1 强度逐渐减弱,表明低层大气开始向稳定状态转变,而高层的正 MPV1 也在不断增大,且在 8 日 02 时左右在 450hPa 高度附近形成一个正中心,中心数值达 0.22PVU 以上,表明高层大气变得更加稳定,即整层大气都在趋向更加稳定的状态,对应着降水趋于减弱与结束。

图 6b 为广州区域 (112.9°~114°E, 22.4°~24°N) 平均的 MPV2 的时间-高度剖面。可以看出,在整个暴雨过程中,广州地区上空 700hPa 以上始终为正 MPV2 所控制,其中在 14 时,600hPa 层附近有一个强度达 0.008PVU 的 MPV2 正中心,14 时至 20 时,中层的正 MPV2 在减小,而低层 MPV2 负值区的绝对值在增大,最大达到 0.022PVU 以上,且由于 MPV2 的负值比 MPV2 的正值大一个量级,因此中低层 MPV2 的绝对值总体是在增大的,表明中低层大气湿斜压性不断加强,对应强降水的发生发展;20 时以后,低层的 MPV2 负值依然维持较强的强度,而 MPV2 的 0 线向上层收缩,中层的正 MPV2 强度不断减弱,对应降水的减弱与结束。

分析表明,暴雨的落区及强度变化与湿位涡存在着密切的联系。暴雨的发生对应着对流不稳定层结和湿斜压性的大气,即暴雨落区的上空中低层为显著的负 MPV1、高层为正 MPV1、低层为负 MPV2、中高层为正 MPV2,中低层负 MPV1 的增强和中低层 MPV2 绝对值的增强对应着暴雨的发生发展,中

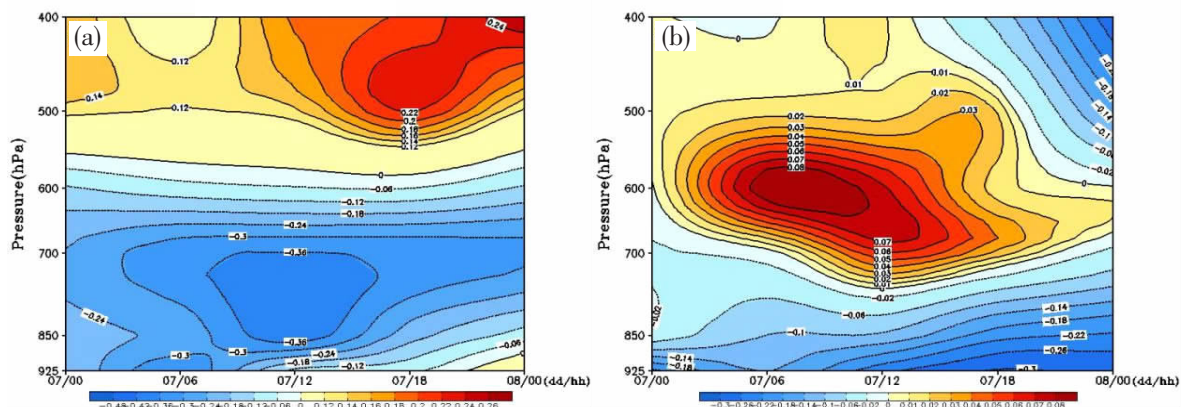


图 6 (a)广州区域 (112.9°~114°E, 22.4°~24°N) 平均的 MPV1 随时间的变化;
(b)广州区域 (112.9°~114°E, 22.4°~24°N) 平均的 MPV2 随时间的变化
(横坐标时间为世界时)

低层负 MPV1 的减弱和中层正 MPV2 的减弱对应着降水的减弱与结束,因此湿位涡对于暴雨的落区和强度方面是很好的预报参考指标。此外,由于 MPV1 在数值上比 MPV2 大一个量级,且 MPV1 的演变与暴雨的空间和强度变化较为一致,因此 MPV1 在 MPV 中占主导地位,即对流不稳定可能是此次降水发展的重要机制。

5 结论

此次过程是一次典型的短时强降水伴随着雷雨大风的前汛期暴雨过程,分析得到以下结论:

(1) 高层南亚高压和高空槽的配置导致广州地区高层处于辐散场中,强盛的气流辐散有利于加强低层辐合和垂直上升运动;500hPa 高空槽前以及带状副热带高压的断裂减弱南落加强了大气层结的不稳定性,有利于暴雨的维持和加强。

(2) 此次过程属于锋面低槽降水,暴雨落区与低空西南大风区位置对应较好,大风区北界对应暴雨落区北界。前期地面低槽的发展为后期暴雨的出现积累了充足的不稳定能量;中层的干冷中心先于地面锋面影响广州,带来持续的中层干冷空气入侵,配合着上升运动,可能是导致暴雨发生发展的触发机制。

(3) 造成此次暴雨的水汽主要来源于南海和北部湾的西南气流输送,在暴雨发生前,有水汽的急剧辐合,暴雨结束前,有水汽的率先辐散,因此水汽通量散度对于暴雨的预报有一定的指示意义。暴雨期间,广州地区上空整层强盛的上升运动有利于暴雨的维持和增强,而垂直上升运动峰值超前于降水峰值出现,对于暴雨的预报有 2~3h 的提前量和预示性。

(4) 湿位涡对于本次暴雨过程的落区和强度方面是很好的预报参考指标。暴雨落区对应着中低层为负 MPV1、高层为正 MPV1、低层为负 MPV2、中高层为正 MPV2 的区域,中低层负 MPV1 的增强和中低层 MPV2 绝对值的增强对应着暴雨的发生发展,中低层负 MPV1 的减弱和中层正 MPV2 的减弱对应着暴雨的减弱与结束。

参考文献:

- [1] 林良勋.广东省天气预报技术手册[M].北京:气象出版社,2006.
- [2] 刘蕾,丁治英,陈茂钦.2010年5月6~7日广州大暴雨过程分析[J].气象研究与应用,2011,32(1):10-17.
- [3] 林爱兰,李春晖,郑彬,等.广东前汛期持续性暴雨的变化特征及其环流形势[J].气象学报,2013,71(4):628-642.
- [4] 林爱兰,谷德军,郑彬,等.广东前汛期暴雨水汽输送异常变化特征[J].热带气象学报,2014,30(6):1001-1010.
- [5] 梁巧倩,林良勋,谢健标,等.广东前汛期西风槽暴雨个例的强度及落区[J].广东气象,2007,29(2):32-35.
- [6] 林良勋,吴乃庚,黄忠,等.广东2008年罕见“龙舟水”特点及成因诊断分析[J].气象,2009,35(4):43-50.
- [7] 谷德军,纪忠萍,高晓荣,等.广东前汛期降水与南海北部风场准双周振荡的关系[J].热带气象学报,2013,29(2):189-197.
- [8] 叶朗明,陈明惠,夏冠聪.华南一次特大暴雨诊断及数值模拟[J].气象研究与应用,2014,35(3):20-26.
- [9] 邓明,杨亚钦,李江南.城市下垫面对华南地区前汛期暴雨的影响初探[J].气象研究与应用,2017,38(3):23-25+30+142.
- [10] 黄巾旗,黄子航,黄干淇.2017年7月广西大范围暴雨过程分析[J].气象研究与应用,2018,39(4):18-21+33+105.
- [11] 王坚红,徐碧裕,刘刚,等.华南前汛期广东暴雨分区动力特征及特大暴雨分析[J].气象与环境学报,2014,30(6):43-51.
- [12] 张焱.华南前汛期暴雨的时空变化及其成因[D].南京:南京信息工程大学,2007.
- [13] 高亭亭,梁卫,罗聪,等.广州前汛期暴雨气候特征分析[J].广东气象,2012,34(2):1-4+9.
- [14] 陈嘉玲,黄敏辉.广州前汛期暴雨各层天气系统特征分析[J].广东气象,2001,2:13-15.
- [15] 安洁,张立凤.暴雨过程中湿位涡的中尺度时空特征[J].气象科学,2004,24(1):72-80.
- [16] 周玉淑.广义湿位涡在江淮流域暴雨分析和预报中的应用[J].大气科学,2009,33(5):1101-1110.
- [17] 黄金霞,陈楷荣,肖天贵,等.广东“080613”暴雨过程的湿位涡诊断分析[J].广东气象,2010,32(1):25-28.
- [18] 李静楠,潘晓滨,臧增亮,等.一次华北暴雨过程的湿位涡诊断分析[J].暴雨灾害,2016,35(2):158-165.

Analysis of the torrential rain in Guangzhou on May 7, 2018

Wei Lei, Zhang Lan

(Guangzhou Meteorological Observatory, Guangzhou 511430)

Abstract: Based on ECMWF $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$ reanalysis data and conventional sounding data, the causes of the torrential rain on May 7, 2018 in Guangzhou were analyzed. The results show that (1) the high-level evacuation trough, the front of the middle-level westerly trough and the low-altitude southwest windy area provided environmental conditions for the formation and strengthening of the rainstorm. The northern boundary of the rainstorm fall area and the north boundary of the southwest windy area corresponded well. (2) This process is precipitation in the frontal low trough. The presence of the dry and cold center in the upper sky of Guangzhou before and during the heavy rain caused continuous dry and cold air intrusion in the middle layer, which may be a trigger mechanism of the frontal low trough precipitation. (3) The water vapor converged sharply before the rainstorm and diverged before the rainstorm ended. The peak of the upward movement appeared ahead of the peak of the precipitation, which is indicative of the rainstorm forecast. (4) The moist potential vorticity has a good reference value for this heavy rain forecast.

Key words: rainstorm; low-level southwest gale area; frontal low trough; mid-level dry-cold center; moist potential vorticity