

冼星河,张玮,陈楚梦,等. 新型观测数据在东莞一次大暴雨过程中的综合应用[J]. 气象研究与应用,2021,42(2):63–67.

Xian Xinghe,Zhang Wei,Chen Chumeng. Comprehensive application of new observation data in a heavy rainstorm in Dongguan[J]. Journal of Meteorological Research and Application,2021,42(2):63–67.

# 新型观测数据在东莞一次大暴雨过程中的综合应用

冼星河,张 玮,陈楚梦

(广东省东莞市气象局,广东 东莞 523000)

**摘要:** 利用区域自动站、风廓线雷达及微波辐射计资料,对东莞市 2019 年 6 月一次大暴雨作综合分析。结果表明:大暴雨发生在前期高温、高层强辐散形势中,低层有西南风急流,水汽充沛,利于出现强降水,低层浅薄冷空气入侵激发前期不稳定能量,强对流出现;弱冷空气触发的降水,雷雨的偏北流出与西南风对峙形成中尺度辐合线,增城降水造成的冷池驱动导致东莞的第一波降水,飑线与地面辐合线合并,冷暖平流对峙激烈,使强降雨维持;850hPa 低空急流在强降水前 2h 最强,925hPa 风速则在 2h 前增大,数值跃升时,强降水出现;低层垂直风切变在强降雨前 2h 最强,对强降雨的发生有指示作用;微波辐射计的综合水汽含量仅对首次降雨有指示作用,提前 20min 的数值增长具有参考性;CAPE 值对强对流的发生敏感。

**关键词:** 大暴雨;风廓线雷达;微波辐射计;地面中尺度

**中图分类号:** P458.1+21.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2021.2.12

OSID:



## 引言

华南前汛期(4—6月)期间,冷空气减弱,西南季风逐渐加强,常出现暴雨甚至大暴雨,往往造成一定的社会经济及人员安全影响。研究暴雨的发生发展规律至关重要,我国的气象工作人员对此做了大量的研究工作<sup>[1-7]</sup>。张劲梅<sup>[4]</sup>等人研究东莞大暴雨形势,发现浅薄冷空气的触发是关键,在充足的水汽条件下可触发大暴雨;黄巾旗<sup>[6]</sup>认为地面辐合线及强烈的上升运动对暴雨有触发作用;邹德龙<sup>[7]</sup>和周芯玉<sup>[8]</sup>利用风廓线雷达研究强降水,表明垂直风切变和低空急流对其发生发展具有指示作用;蔡奕萍<sup>[9]</sup>发现东莞多通道微波辐射计中的综合水汽含量和对流有效位能在强降水发生前会出现激增现象。东莞每年前汛期发生大暴雨的次数虽然仅有几次,特别是全市性范围的大暴雨次数罕见,但分析前汛期大暴雨发生的环流特征,并利用各种监测手段进行短临监测,是日常预报预警业务的重要工作。尝试分析

发生在 2019 年 6 月 10 日龙舟水期间的一次全市性大暴雨过程的新型观测设备提供的高分辨率资料变化特征,提炼新型观测设备资料综合应用指标,为前汛期东莞大暴雨的短期和短临预报提供一些参考。

## 1 资料

使用的资料包括常规气象观测资料、区域自动气象站资料、风廓线雷达、微波辐射计资料。

## 2 大暴雨过程特点

2019 年 6 月 10 日,东莞出现一轮大暴雨过程,为该年度最强降雨过程,10 日 08 时至 11 日 08 时共 17 个镇(街)的 29 个站点录得超过 100mm 降水,最大为寮步镇 146.8mm,40 个站点小时雨强大于 50mm,最大为大朗镇 95.2mm。降水集中高效,时间长达 3.5h,伴有大范围 8 级大风。

收稿日期:2020-06-28

基金项目:东莞市气象局科研项目“东莞两次大暴雨过程新型探测资料特征”

作者简介:冼星河(1991—),本科,工程师。E-mail:596047503@qq.com

### 3 大暴雨形成的天气形势背景分析

#### 3.1 大尺度环流特征

6月10日08时,华南处于南亚高压东侧扇形辐散区,有利于高空抽吸辐散,500hPa高空槽东南压影响粤东北,850hPa切变线位于两广以北,印度-南海西南季风建立,低层有暖脊自北部湾北伸至珠江口,地面有浅薄冷空气自粤东北沿着粤中东部入侵,是一次季风北涌及弱冷空气共同触发的大暴雨,冷空气入侵后,降水停止。

#### 3.2 水汽条件及稳定度条件分析

选择东莞上游100km左右清远站的10日08时探空资料,用东莞11时(强天气12时发生)的地面温度、露点温度替换08时探空数据,得到发生强天气前的探空曲线。对比9日20时发现,10日08时地面到850hPa的温度露点差减小,至08时均小于 $4^{\circ}\text{C}$ ,925hPa以下比湿有 $2\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 左右的增幅,显示低层水汽条件变好,为大暴雨提供充足水汽条件。抬升凝结高度(979.6hPa)、对流凝结高度(969hPa)和自由对流高度(959.6hPa)均较低,接近地面。6日起,华南连续一周最高气温 $33^{\circ}\text{C}$ 以上,积累大量不稳定能量,对流有效位能( $3199.2\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ )和K指数( $40^{\circ}\text{C}$ )高,这些都表明10日清远及周边处于极不稳

定状态,一旦有弱的触发条件,强天气就会发生。

### 4 强降水的触发及维持机制

利用新型地面自动站资料绘制地面流场、散度场、温度场、温度平流场。6月10日11—13时,弱冷空气从粤北自增城渗透南压,形成 $25^{\circ}\text{C}$ 冷中心(图1a),触发零散降水回波,雨滴冲击地面形成辐散的偏北风场,与珠江口的西南风在白云及东莞北对峙,形成中尺度辐合线,降水后侧冷池维持,与白云的 $34^{\circ}\text{C}$ 暖中心及东莞北 $32^{\circ}\text{C}$ 的暖中心构成强水平温度梯度,降水发生在辐合线及温度梯度密集带;14时,白云区的温度梯度最大,冷暖中心差 $8^{\circ}\text{C}$ ,触发新降雨回波(图1b);15—16时,降雨回波沿着水平温度梯度密集带东南移动影响东莞,第一波降雨触发,录得50~70mm的雨量。

6月10日16时,一飑线东移至佛山,后侧有 $-20\text{k}\cdot\text{s}^{-1}$ 的冷平流,温度梯度 $8^{\circ}\text{C}\cdot(50\text{km})^{-1}$ ,强降水出现在温度梯度最大处,冷池驱动其向东南移动(图1c);雷达显示飑线与影响东莞的降雨回波并未相连,但在地面上,两者的中尺度辐合线及温度梯度密集区已经合并,呈“人字形”分布,东莞为三支气流汇合区,辐合强度 $-6\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$ (图1d);17时,辐合线东移影响东莞,冷暖平流对峙激烈,温度平流 $-15\text{k}\cdot\text{s}^{-1}$ ,

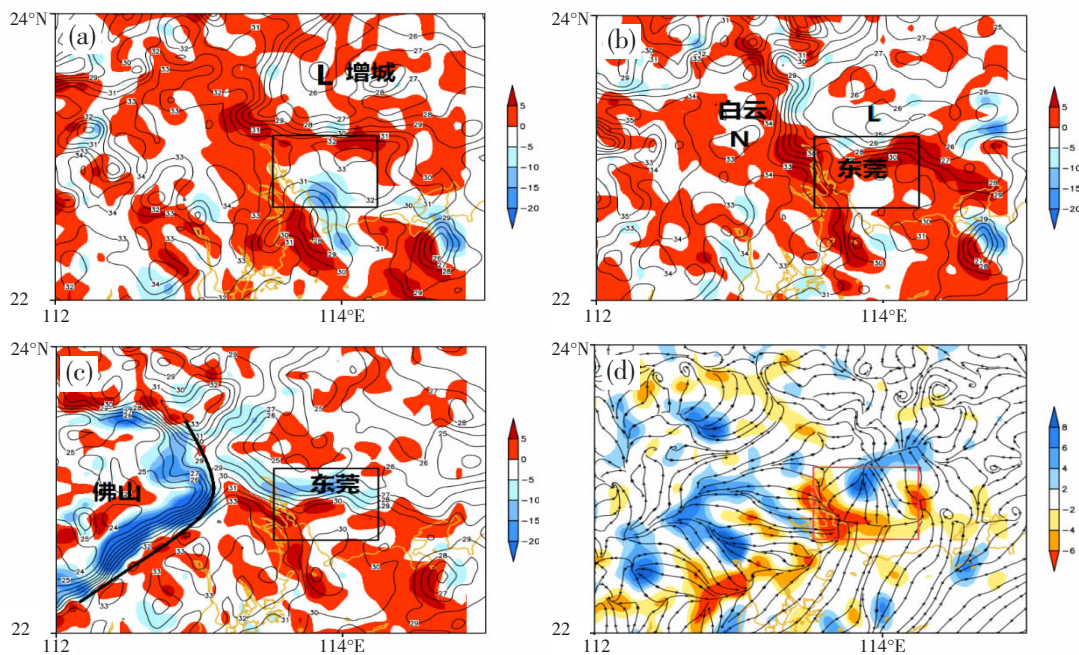


图1 6月10日12时(a)及14时(b)地面温度场及温度平流场(填色, $\text{k}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  
16时地面流场、散度场(c)( $10^{-5}\cdot\text{s}^{-1}$ )、地面温度(t)、温度平流场(d)  
N为暖中心,L为冷中心,黑色粗实线为飑线

飑线的温度平流 $-20\text{K}\cdot\text{s}^{-1}$ , 雷达图显示(图略)该“人字形”流场对应飑线及东莞强降雨中心, 东莞触发第二波降雨, 小时雨量为 $88.6\text{mm}$ 。两条辐合线的“碰撞”现象, 有利于触发新对流<sup>[6]</sup>, 在交汇附近区域新生的对流单体使后续降水强度继续维持和发展。

## 5 风廓线雷达特征

### 5.1 低空急流和超低空急流与强降雨的演变特征

低空急流和超低空急流被认为是强降雨形成及维持的条件。由于东莞无风廓线雷达, 故以 $40\text{km}$ 外的增城站为参考。由图2可知, 10日01时至10时,  $850\text{hPa}$ 有低空急流, 波动上升,  $925\text{hPa}$ 未达急流强度, 波动下降, 10时,  $850\text{hPa}$ 低空急流达峰值 $19.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $925\text{hPa}$ 风速达最小值 $6.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 增城降水开始, 但小时雨强不足 $5\text{mm}$ ; 此后 $850\text{hPa}$ 低空急流迅速减弱,  $925\text{hPa}$ 风速波动增强, 后者11时达急流强度, 11—12时增城降水持续, 小时雨强仍不足 $10\text{mm}$ ; 13时,  $850\text{hPa}$ 风速减弱至 $6.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $925\text{hPa}$ 风速达峰值 $15.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 增城出现小时雨强 $24.2\text{mm}$ 降水; 14—17时降水减弱, 雨强不足 $5\text{mm}$ ,  $850\text{hPa}$ 及 $925\text{hPa}$ 风速维持急流强度以下。两者在强降雨开始前, 呈负相关关系, 前者在降水开始前最强, 在强降雨开始前最弱, 后者则相反, 当强降雨结束后, 两者的变化趋势一致;  $850\text{hPa}$ 低空急流在强降雨开始2h前强度最大, 维持6h以上, 长时间持续的低空急流意味着强降雨的出现, 此后动量下传, 使低层风速增强, 超低空急流建立和增强, 引起低空扰动加强, 低层垂直风切变加强, 为暴雨提供有利的动力条件。 $925\text{hPa}$ 风速在强降雨发生2h开始增大, 数值跃升时, 强降雨出现。 $850\text{hPa}$ 低空急流变化特征与王彦<sup>[10]</sup>等研究结论基本一致, 其在强降雨开始前高度下降的特征则与周芯玉等<sup>[8]</sup>研究结论一致。

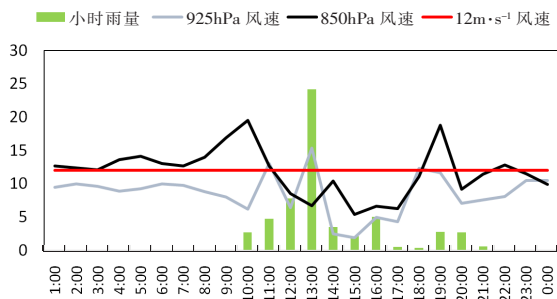


图2 6月10日06时至11日22时增城风廓线雷达 $850\text{hPa}$ 、 $925\text{hPa}$ 风速( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )及东莞小时雨强( $\text{mm}$ )随时间( $\text{h}$ )变化

### 5.2 垂直风切变与强降雨的演变特征

应用风廓线雷达资料计算相对地面的 $0\sim 3\text{km}$ 及 $0\sim 6\text{km}$ 的垂直风切变(图3), 分析强降雨发生前的环境风场特征。10时降雨开始前,  $0\sim 3\text{km}$ 风切变波动上涨, 到10时达峰值 $18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $0\sim 6\text{km}$ 在10时达峰值 $25.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 10—12时增城小雨,  $0\sim 3\text{km}$ 风切变减弱,  $0\sim 6\text{km}$ 风切变在11时减弱后激增, 到13时增城强降雨时, 前者稳定在低值, 而后者达到小峰值 $14.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 强的垂直风切变可以使上升气流倾斜, 减少降水粒子的拖曳作用, 亦加强中层干冷空气的卷入, 使下沉气流和低层冷空气外流增强, 迫使流入的暖湿气流强烈抬升, 在降雨开始前低空垂直风切变达中等强度, 满足对流风暴维持、发展的环境风条件, 在强降雨开始前2h达峰值, 对强降雨的发生发展有指示作用。

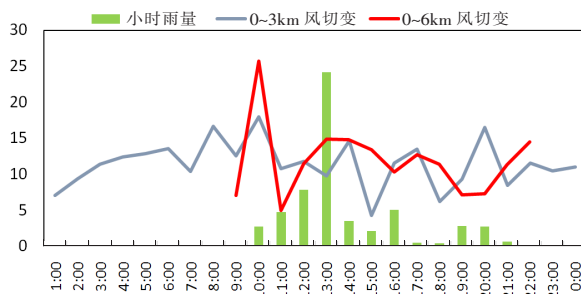


图3 6月10日06时至11日22时增城风廓线雷达 $0\sim 3\text{km}$ ( $\text{m}$ )、 $0\sim 6\text{km}$ ( $\text{m}$ )及东莞小时雨强( $\text{mm}$ )随时间( $\text{h}$ )变化

## 6 微波辐射计特征

### 6.1 综合水汽含量演变特征

多通道微波辐射计已广泛应用于各领域, 并取得显著的效果<sup>[11-14]</sup>。本节从对流有效位能(CAPE)及综合水汽含量IWV两方面分析。10日东莞站共出现4次降雨: 第一次12时20分, 小阵雨; 第二次13时35分, 小阵雨; 第三次14时45分, 小阵雨持续至第四次15时40分, 累计大雨。

综合水汽含量(IWV)表示单位面积上的水汽质量, 直观反映大气中水汽状态。降水开始前, 大气水汽含量明显波动, 云液态水含量明显增加, 对降水发生有指示意义, 可用于判断云系是否处于降水产生阶段, 对暴雨的监测十分有利。分析发现(图4), 10日的IWV充沛, 峰值 $87.1\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , 属于较为极端的水汽条件<sup>[15]</sup>。IWV在首次降水开始前2h小幅增大, 在20min前迅速增大, 增幅 $14\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , 降水发生在



IWV 快速增长的波峰上。此后三次降雨前 IWV 均下降,但维持高值状态,这是由于在降水结束后出现天线附着水及空气湿度大等问题,易导致数据失真,这种影响完全消除需要 4~6h 的时间<sup>[16]</sup>,过程 4 次降雨相隔均小于 4h,可判断为同一次过程,所以微波辐射计的综合水汽含量指数仅对首次降雨有指示作用,提前 20min 的数值增长具有参考性,与蔡奕萍等<sup>[9]</sup>研究的结论相似。



图 4 10 日东莞国家基本站微波辐射计 IWV 值日变化  
曲线代表 IWV 值,直线代表一次强降水回波开始时刻

## 6.2 有效位能演变特征

对流有效位能 CAPE 表征大气稳定度,反映不稳定潜势能量的大小,数值越大代表强对流越容易发展。分析东莞 10 日 CAPE 值随时间演变特征(图 5),08 时从最低  $1140\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$  持续上涨,能量聚集,临近降雨前 15min 达峰值  $2300\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,增幅  $1000\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,此后急剧下降,降水出现,表明对流发生前能量有部分释放,降水结束后迅速回落至较低水平,能量大量释放,第 2 至 4 次的降水均有上述现象,CAPE 值提前 15~25min 出现峰值。4 次雷雨前,其峰值基本都高于  $2000\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,属中等偏强对流不稳定,较强的 CAPE 值有利于气块加速通过暖云层,降水历时短

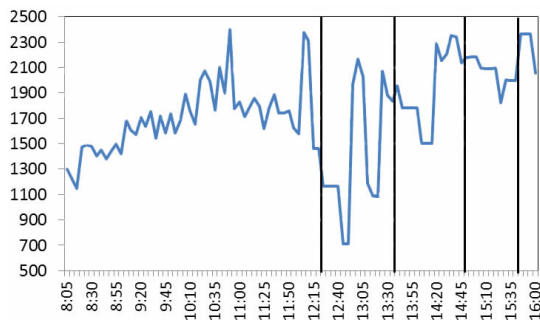


图 5 10 日东莞国家基本站微波辐射计 CAPE 值日变化  
曲线代表 CAPE 值,直线代表一次  
强降水回波开始影响时刻

而急,与 10 日小时雨强大并伴有大风的特点吻合,对短时强降水及强对流的发生有指示作用。

## 7 结论

(1) 大暴雨发生在前期高温、高层强辐散形势中,低层有西南风急流,水汽充沛,利于出现强降水,低层浅薄冷空气入侵激发前期不稳定能量,东莞出现大暴雨及短时大风。

(2) 弱冷空气触发降水,雷雨的偏北出流与珠江口的西南风对峙形成中尺度辐合线,冷池驱动第一波降水;飑线与地面辐合线合并,冷暖平流对峙,交汇区新生的对流单体使后续降水强度维持和发展,东莞触发第二波降雨。

(3) 风廓线雷达分析发现 850hPa 低空急流在强降水开始 2h 前最强,长时间持续的低空急流意味着强降水的出现,925hPa 风速在强降水发生 2h 开始增大,数值跃升时,强降水出现;低层垂直风切变在强降雨开始前 2h 达峰值,满足对流风暴维持、发展的环境风条件,对强降雨的发生发展有指示作用;

(4) 微波辐射计的综合水汽含量指数仅对首次降雨有指示作用,提前 20min 的数值增长具有参考性;CAPE 值提前 15~25min 出现峰值,其峰值基本高于  $2000\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,属中等偏强对流不稳定,对强天气的发生有指示作用。

## 参考文献:

- [1] 陶诗言.中国之暴雨[M].北京:科学出版社,1980.
- [2] 林良勋,冯业荣,黄忠,等.广东省天气预报技术手册[M].北京:气象出版社,2006.
- [3] 伍志方,曾沁,吴乃庚,等.广州“5.7”高空槽后和“5.14”槽前大暴雨过程对比分析[J].气象,2011,37(7):838-846.
- [4] 张劲梅,莫伟强.浅薄冷空气触发东莞初汛期两暴雨特征分析[J].气象研究与应用,2013,34(S1):81-83.
- [5] 何珊珊,梁依玲,农孟松.一次东风波背景下的局地强降雨过程分析[J].气象研究与应用,2020,41(2):63-67.
- [6] 黄巾旗,黄子航,黄干洪.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.
- [7] 邹德龙,梁晓京,岑易峰,等.基于风廓线雷达资料的一次强降水天气过程分析[J].气象研究与应用,2019,40(3):26-30.
- [8] 周志玉,廖菲,胡东明.利用风廓线雷达对广东前汛期短时强降水类暴雨过程低空风场特征的研究[J].热带气象学报,2019,35(3):332-342.
- [9] 蔡奕萍,汪博炜,冼星河.微波辐射计资料在降水临近预

- 报中的应用[J].广东气象,2018,40(5):35-38.
- [10] 王彦,刘一玮,孙晓磊.利用风廓线雷达资料分析一次强降水过程的风垂直切变特征[J].暴雨灾害,2017,36(2):171-176.
- [11] 刘敏,李礼,许丽萍,等.RPG—HATPRO 地基多通道微波辐射计的使用与维护[J].分析仪器,2014(5):89-92.
- [12] 杜荣强,魏合理,伽丽丽,等.基于地基微波辐射计的大气参数廓线遥感探测[J].大气与环境光学学报,2011,6(5):329-335.
- [13] 张文刚,徐桂荣,万蓉,等.基于地基微波辐射计的大气液态水及水汽特征分析[J].暴雨灾害,2015,34(4):367-374.
- [14] 敖雪,王振会,徐桂荣,等.地基微波辐射计资料在降水分析中的应用[J].暴雨灾害,2011,30(4):358-365.
- [15] 郑永光,陶祖钰,俞小鼎.强对流天气预报的一些基本问题[J].气象,2017,43(6):641-652.
- [16] 张泽娇.利用微波辐射计 TP/WVP-3000 亮温资料建立降水临近预报方法的初步研究[D].南京:南京信息工程大学,2012.

## Comprehensive application of new observation data in a heavy rainstorm in Dongguan

Xian Xinghe, Zhang Wei, Chen Chumeng

(Dongguan Meteorological Bureau, Dongguan Guangdong 523000)

**Abstract:** Based on the data of regional automatic weather station, wind profiler radar and microwave radiometer, a heavy rain in Dongguan in June 2019 was analyzed. The results showed that the rainstorm occurred in the situation of high temperature and strong divergence in the early stage, there was the southwest wind jet in the low level with abundant water vapor, which was conducive to the occurrence of heavy rainfall. The invasion of shallow cold air in the low level stimulated the early unstable energy, and the strong convection occurred. Weak cold air triggered precipitation, the northerly outflow of thunderstorm and southwest wind formed a mesoscale convergence line, and the cold pool caused by precipitation in Zengcheng led to the first wave of precipitation in Dongguan. The squall line merged with the surface convergence line, and the cold and warm advection was intense, which made the heavy rainfall maintain. The 850hPa low-level jet was the strongest 2 hours before the heavy rainfall, and the 925hPa wind speed increased 2 hours before the heavy rainfall. When the value jumped, the heavy rainfall appeared. The low-level vertical wind shear was the strongest 2 hours before the heavy rainfall, which can indicate the occurrence of heavy rainfall. The integrated water vapor content of microwave radiometer could only indicate the first rainfall, and the numerical growth 20 minutes ahead of time had reference value. The Cape value was sensitive to the occurrence of strong convection.

**Key words:** rainstorm; wind profiler radar; microwave radiometer; surface mesoscale