

张涛,方翀,朱文剑,等. 2011 年 4 月 17 日广东强对流天气过程分析[J]. 气象,2012,38(7):814-818.

2011 年 4 月 17 日广东强对流天气过程分析^{* 1}

张 涛 方 翀 朱文剑 章国材 周庆亮

国家气象中心,北京 100081

提 要: 利用地面和高空观测、卫星、雷达和闪电及自动站资料对 2011 年 4 月 17 日出现在广东省的强对流天气的背景和演变进行了分析和总结,本次强对流过程出现了短时强降水、雷雨大风和冰雹等强对流天气,具有风力强、中尺度强风暴系统明显、局地性强和灾情严重等特点。分析表明,地面锋面抬升是本次强对流天气发生的主要触发机制,珠三角地区的地形平坦、广东中层的干急流以及较大的垂直风切变可能是强风暴系统发展和维持的主要因素。最后,本文也分析了当时的主观预报思路并提出了一些思考和总结。

关键词: 短时强降水, 雷雨大风, 冰雹, 主观预报, 强对流天气

Analysis of the 17 April 2011 Severe Convective Weather in Guangdong

ZHANG Tao FANG Chong ZHU Wenjian ZHANG Guocai ZHOU Qingliang

National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: Using surface observation, upper-air sounding, satellite, Doppler radar and lightning data, synoptic-scale environmental conditions and detailed mesoscale development analysis are undertaken on the severe convective system over Guangdong in the morning of April 17, 2011. Short time heavy rain, hail and squall were detected in this convective system, and results show that, the trigger of severe convective storms is the cold front, and meanwhile the local topography of the Pearl River Delta, mid-level jet over Guangdong and large wind shear are considerably important in maintaining and developing of the storm. In the last, analysis and summary of subjective forecasting in this weather system are also given.

Key words: short time heavy rain, thunderstorm and gale, hail, subjective forecasting, severe convective weather

引 言

中国大陆出现的暴雨主要集中于三个时期,其中 4—6 月华南地区的暴雨是中纬度天气系统和低纬度天气系统相互作用的结果。产生降水的系统如高空槽、锋面、切变线、低涡等都具有温带系统的特征,在降水过程中冷空气起了明显的作用。为了区别盛夏时期由台风、热带辐合区等天气系统所造成的暴雨,把这一阶段的暴雨叫做前汛期暴雨。对于华南前汛期暴雨的研究已经有了很多,对大尺度的天气系统、水汽条件等也已有一些天气配置模型,例

如陶诗言等^[1]根据前汛期暴雨出现时的天气形势,一般可以分成以下锋面低槽型、锋际低空急流型、锋面低空急流型和低涡锋面型 4 类,其中 3 类都与锋面密切相关。而在华南前汛期期间,不仅是暴雨,剧烈的雷暴大风、大冰雹等强对流天气也经常伴随冷锋南下而出现。2011 年 4 月 17 日华南的一次前汛期暴雨天气过程中,广东省大部分地区都出现了强对流天气,佛山、肇庆、广州等地短时间内出现了不同程度的人员伤亡和财产损失。造成灾情的主要天气系统是一个 MCS 系统,该 MCS 自广西移向广东并在佛山、肇庆、广州等地不断发展并最终形成超级单体风暴,由此带来的短时强降水、冰雹、雷雨大风

* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006005 和 GYHY200906003)及中央气象台强对流团队共同资助

2012 年 1 月 18 日收稿; 2012 年 5 月 4 日收修定稿

第一作者:张涛,从事天气预报,强对流天气方向. Email:zhangtao@cma.gov.cn

和龙卷风等天气造成了人员伤亡和财产损失。随着雷达资料的应用,国内对超级单体风暴进行了不少的研究^[2-17],数值预报通常可以很好地报出大尺度雨带。但是在暴雨过程的背景下,何时何地是否会出现极端暴雨以及剧烈强对流天气是最大的预报难点,也是致灾最重的事件,这大多取决于中小尺度强对流天气系统的发生发展。但是对于如何提高该类强对流天气的主观预报水平的研究依然较薄弱,本文在对天气实况、天气特点和成因分析的基础上提出了提高该类强对流天气的主观预报准确率的若干建议。

1 天气实况

2011 年 4 月 17 日,广东省西北部至珠三角地区出现区域性强对流天气,广州、佛山、深圳等地出现强雷暴大风、短时强降水、冰雹及龙卷。如图 1 和图 2 的广东省风雨分布图所示,4 月 17 日 08—20 时,全省共有 289 站雨量超过 25 mm,47 站超 50 mm,深圳市罗湖区罗湖党校测得最大过程雨量 127 mm;99 站大风超过 8 级,其中顺德区陈村仙涌居委会最大阵风 14 级($45.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$);德庆悦城镇冰雹最大直径 5 cm,持续时间约 30 分钟。

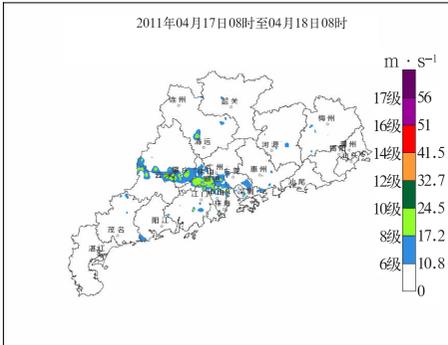


图 1 2011 年 4 月 17 日广东省瞬时大风分布
Fig. 1 Distribution of instantaneously high winds in Guangdong on April 17, 2011

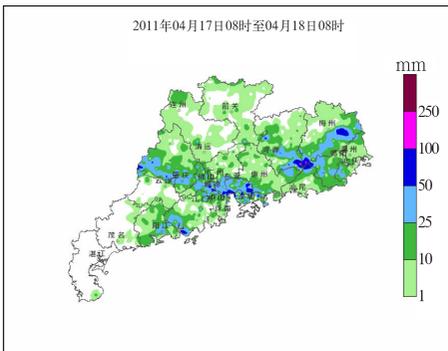


图 2 2011 年 4 月 17 日广东省雨量分布
Fig. 2 Distribution of heavy rainfall in Guangdong on April 17, 2011

2 天气特点

本次强对流天气过程具有如下特点:

(1) 大风风力强

本次过程中,佛山顺德区陈村仙涌居委会记录了全省最大阵风 14 级($45.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),强风导致的建筑物倒塌是这次天气过程造成人员伤亡的直接原因,根据广东省气象局的气象资料记载,本次大风是 1994 年广东省建设加密区域自动气象站以来记录的最大瞬时极大风。

(2) 中尺度强风暴系统明显,局地性强

从雷达等资料分析,这次强对流天气主要由一个强对流风暴系统造成。该风暴 4 月 17 日 05 时左右起始于广西北部,之后向东偏南方向移动,10 时左右移至广东境内后,风暴出现超级单体,在广东珠三角地区的东西向移动路径上出现强风雹和强降水灾害,受灾区域呈狭窄带状分布。

从卫星、雷达、闪电等非常规监测资料及地面观测综合分析,4 月 16 日 22 时至 17 日 21 时先后有两个主要中尺度对流系统(MCS)在广西和广东境内活动,第一个 MCS1 于 16 日夜间在广西西北部生成,17 日早晨减弱消失;造成广东灾害的为第二个 MCS2,约于 17 日 05 时在 MCS1 北面生成之后向广东移动,其路径如图 3 和图 4 所示。

(3) 灾情严重

这次过程,佛山、肇庆、广州等地短时间内出现了不同程度的人员伤亡和财产损失。全省累计受灾人口 3239 人,因灾死亡 18 人,因灾伤病 155 人,农

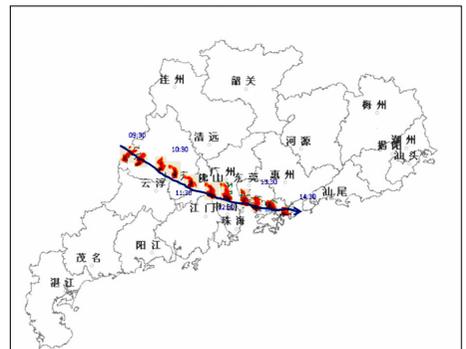


图 3 2011 年 4 月 17 日广东省境内风暴 MCS2 移动路径示意图
(阴影为不同时段雷达风暴回波,箭头为风暴回波移动方向)

Fig. 3 Path of severe storms in Guangdong on April 17, 2011
(Shadow indicates storm echo in different time, arrow denotes the moving direction of those storm echoes)

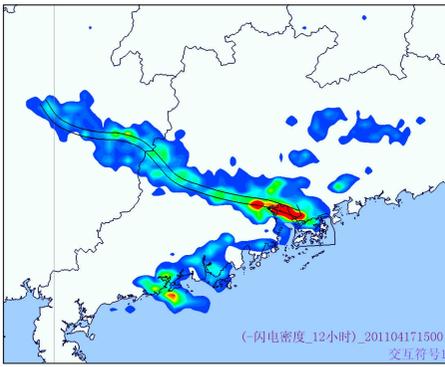


图 4 2011 年 4 月 17 日 03—15 时
广东及周边地区累计闪电密度分布
Fig. 4 Distribution of lightning density
in Guangdong and surrounding area
from 03 BT to 15 BT April 17, 2011

作物受灾面积 1086.7 hm², 倒塌房屋 45 间, 直接经济损失约 5500 万元。

3 强对流天气成因

本次强对流天气是由于北方冷空气南下侵入暖湿的华南地区产生强对流超级单体风暴造成的。强的垂直风切变风场对超级单体的产生至关重要, 而广东上空对流层中层的干空气对强雷暴大风的发生具有关键作用。

3.1 环流背景

从 4 月 17 日 08 时的环流分析(图 5)来看, 500 hPa 高空横槽位于西南地区东部, 华南地区处于槽前平直西风急流控制, 广东上空极干, 温度露点差大于 40℃; 低空 850 hPa 为西南暖湿气流, 整个华南位于露点大于 14℃ 的区域, 水汽充沛; 地面冷锋位于南岭以南, 东西两端南下更快, 冷锋前部区域为偏南风。对流天气发生的 3 个基本条件: 水汽、对流不稳定和抬升条件都满足, 而由对流向强对流转换的关键条件强垂直风切变也具备。这些特征从清远探空资料分析(图 6, 清远站位于图 5 中红色五角星标注的位置)也很明显。

3.2 中尺度超级单体风暴系统及演变

正是在上述有利于强对流天气发生的大尺度背景下, 16 日夜, 冷锋的西段先行南下从贵州进入广西, 在广西西北部抬升不稳定的暖湿空气触发了第一个中尺度对流系统 MCS1, MCS1 生成后主要受高空西风引导气流控制, 同时受低层偏南风入流

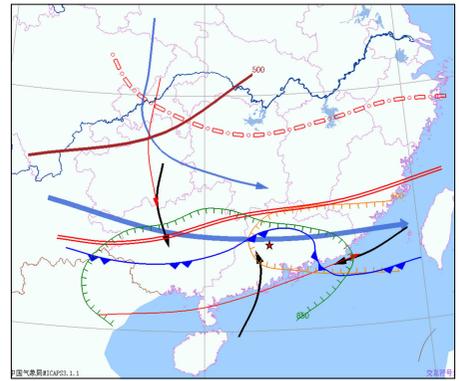


图 5 2011 年 4 月 17 日 08 时华南
强对流天气系统配置

(蓝色箭头为 500 hPa 气流, 红色双实线为 850 hPa 切变线, 红色箭头为 850 hPa 气流, 黑色箭头为地面气流, 绿色线为 850 hPa 露点大于 14℃ 区域, 黄色线为 500 hPa 温度露点差大于 40℃ 区域)

Fig. 5 Synoptic analysis of the severe convective weather system in South China at 08 BT April 17, 2011

(Blue arrow is air flow for 500 hPa, red double line for 850 hPa shear, red arrow for 850 hPa air flow, black arrow for surface air flow, green line indicates area of dew-point above 14℃, and yellow line for area of temperature-dewpoint different above 40℃)

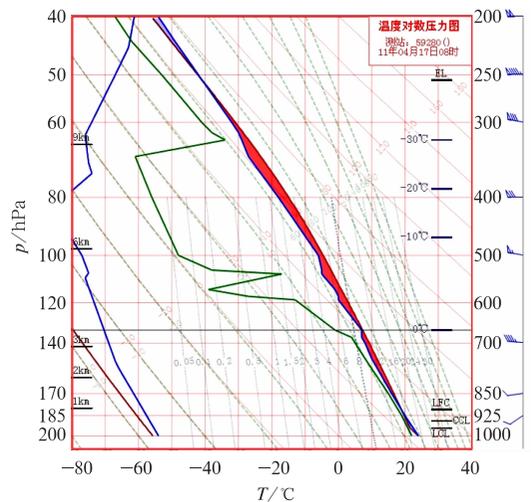


图 6 2011 年 4 月 17 日 08 时清远站
探空资料分析

Fig. 6 Analysis of sounding data
at Qingyuan Station at 08 BT
April 17, 2011

的影响, 呈右移风暴的特点向东南移动, 17 日 04 时后移至广西中部, 弱风场及低热力条件使其逐渐衰亡(图略)。

17 日 05 时左右, 锋面中段翻越南岭在广西北部抬升锋前高能区气块触发第二个中尺度对流系统

MCS2 生成;06—07 时的开始阶段,由于正值凌晨,热力条件和偏南风都最弱,新生单体入流主要来自于左前侧锋面抬升,MCS2 向东移动,这是 MCS2 第一发展阶段。

08 时之后 MCS2 进入第二发展阶段,如雷达回波演变(图 7)所示。风暴约 09 时从广西境内移入广东并逐渐加强,期间最大反射率因子超过了 60 dBz;雷达回波 10 时左右逐渐出现了弓状回波、后侧入流缺口;11 时的经向速度(图 8)显示出中气旋特征,13 时的风暴垂直剖面(图 9)显示出回波悬垂、有界弱回波区以及明显的倾斜特征,显示高空风较强;另外三体散射长钉等雹暴的雷达回波特征也具备(图略),这都显示出 MCS2 逐渐发展成了具有超级单体的强对流风暴。

MCS2 右移风暴的对流单体受高空气流引导向东移动,而单体传播方向是东南,最终风暴系统移动方向为东偏南,向珠三角地区移去,由于单体传播方

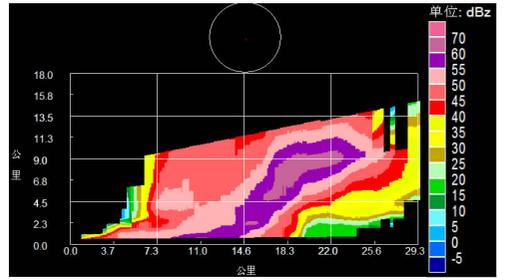


图 9 2011 年 4 月 17 日 13 时 36 分 广州雷达垂直剖面

Fig. 9 The cross section of reflectivity from the Doppler radar of Guangzhou at 13:36 BT April 17, 2011

向与移动方向接近,风暴整体移动速度较快,在这一阶段时速约 $60\sim70\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

14 时后 MCS2 进入减弱阶段,系统移至沿海,其下游即东侧为冷锋东段后部的冷区,风暴逐渐失去了能量来源,最终减弱消失。

综观整个过程,MCS2 在广西境内已经发展起来并有短时强降水发生,但进入广东境内后才出现雷暴大风,通过上述分析可以看出两点原因:(1) 中层环境气流差异,500 hPa 的风场和湿度场显示,两广交界处存在干湿边界,广东中层更干,风速更大。一方面,中层的干环境使得夹卷进风暴体的空气更干,更大的蒸发降温导致下沉气流强度更大;另一方面,中层的急流使得 $0\sim6\text{ km}$ 垂直风切变更大,风暴发展的动力不稳定条件更好。(2) 日变化导致的热力因素,日出后地面热力条件逐渐加强,自海面来的东南风入流也逐渐加强,对流系统低层有更多的水汽和热量输入。

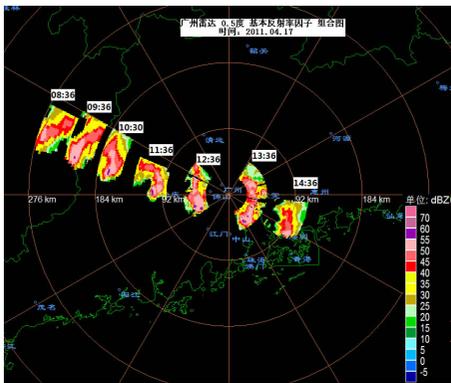


图 7 2011 年 4 月 17 日广州雷达 0.5° 仰角基本反射率演变图

Fig. 7 Reflectivity (at 0.5° elevation) evolution from the Doppler radar of Guangzhou on April 17, 2011

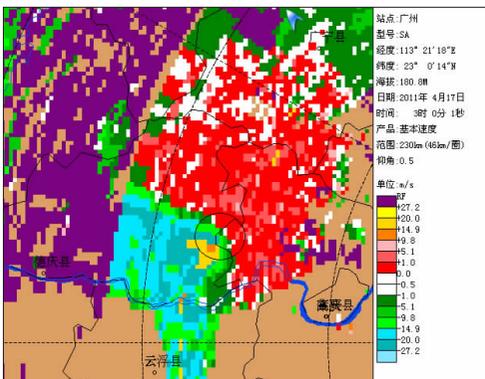


图 8 2011 年 4 月 17 日 11 时广州雷达 0.5° 仰角径向速度

Fig. 8 Radial velocity images (at 0.5° elevation) from the Doppler radar of Guangzhou at 11 BT April 17, 2011

4 主观预报及思考

通过对此次天气过程中期、短期直到短时的不同预报时段内的所作的预报结果分析,对于广东这次强对流天气过程,在分类强对流天气的短期预报中,短历时强降雨的预报能力还是比较好的,短时大风虽然提前 3 天给出了展望,但是总体的短期预报能力有限。

这次过程影响系统明显,500 hPa 有低槽,850 hPa 有切变线,地面有冷锋,冷锋还是强对流天气的动力抬升系统。在这种天气形势下,关键是做好环境条件分析,特别是发展成超级单体风暴的强动力不稳定条件——强垂直风切变关键条件分析,产生强雷暴大风的关键因子——具有较高的下沉对流有效位能 DCAPE 环境场中层干急流条件的分析。只要环境具备强对流天气产生的“潜势”,冷锋的动力抬升就可以将“潜势”转化为强对流天气。分

析清远4月17日08时的探空资料,700 hPa以下很潮湿(见图6),温度露点差小,这是有利于短历时强降水的形势, $K=34^{\circ}\text{C}$, $LI=-1.4^{\circ}\text{C}$,850与500 hPa假相当位温差为 11°C ,具有明显的对流不稳定层结;由图6还可见,清远08时垂直风切变也很大,925与700 hPa之间的垂直风切变达到 $6.7\times 10^{-3}\text{ s}^{-1}$,这些特征都是有利于强对流天气的环境条件。由于08时距离强对流天气的出现时间比较短,我国一天只有两次探空,分析清远4月16日20时的探空资料,尚不具备上述有利于强对流天气发生的环境条件,因此,根据实况资料分析,很难在短期时效内预报出这次强对流天气。此时,必须依靠数值预报产品的分析。

因此,要进一步提高国家和省两级强对流天气短时和短期分析预报能力,应加强以下几个方面的工作。

(1) 通过大批量分类强对流天气个例环境条件的统计分析,得到有利于分类强对流天气发生的有利的环境条件,采用配料等方法建立分类强对流天气客观预报方法,提高对预报员的支撑能力;与此同时,预报员也应当在业务值班中重点分析这些环境条件,以提高强对流天气的预报准确率。

(2) 加强探空资料和其他有利于分析环境条件的观测资料(例如风廓线仪、微波辐射计等)的分析,在强对流季节和汛期建立至少1小时间隔地面图分析业务。

(3) 加强中尺度数值预报产品特别是对流参数(有利的环境条件)的检验工作,对其进行有效的解释应用(订正),提高强对流天气的预报准确率和时效。

(4) 在国家级建立基于集合预报产品解释应用的强对流天气概率预报业务,进一步提高强对流天气预报时效,降低漏报率。

对于省和地市级强对流天气监测和临近预报业务应加强以下几方面的工作。

(1) 完善强对流天气监测业务。加强本区域和周边各种观测资料的分析,做到及时发现、跟踪预报。

(2) 加强新一代天气雷达资料的连续分析对于强对流天气的监测预报具有重要意义。目前需要进一步完善临近预报业务技术流程,使每一个预报员都明确如何快速分析所需要的雷达产品去制作分类强对流天气临近预报。

(3) 加强省和地市级预报员新一代天气雷达资料和产品应用的全员培训,使每一个从事临近预报的预报员都能熟练地分析新一代天气雷达资料和产品,快速制作分类强对流天气临近预报产品。

5 小结和讨论

通过对本次强对流天气过程及预报的分析,得出以下主要结论:

(1) 本次强对流天气过程出现了超级单体风暴这样的强中尺度对流系统,这是导致雷暴大风风力强、出现区域局地性强和灾情严重的主要原因。

(2) 中尺度对流天气系统在广西触发,并在进入广东后发展出超级单体风暴,主要是由于广东珠三角地区存在更有利强中尺度对流系统产生的环境场,而珠三角更平坦的地形条件也可能是原因之一。

(3) 本次天气过程在强对流类型的预报方面以及短期时效的预报方面有待提高,需要进一步提高国家和省两级强对流天气短时和短期分析预报能力,加强省和地市级强对流天气监测和临近预报业务。

(4) 华南前汛期期间多发暴雨和强对流,但却有环流形势相近但天气强度不同的情形,需要进行更多的对比分析才能加以更好的理解,这是本文的局限之一。

参考文献

- [1] 陶诗言,等著. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社,1980.
- [2] 郑媛媛,俞小鼎,方翀,等. 一次典型超级单体风暴的多普勒天气雷达观测分析[J]. 气象学报,2004,62(3):317-328.
- [3] 牛淑贞. 典型超级单体风暴过程分析[J]. 气象,1999,25(12):32-37.
- [4] 俞小鼎,郑媛媛,张爱民,等. 安徽一次强烈龙卷的多普勒天气雷达分析[J]. 高原气象,2006,25(5):914-923.
- [5] 伍志方,张春良,张沛源. 一次强对流天气的多普勒特征分析[J]. 高原气象,2001,20(2):202-207.
- [6] 廖向花,周毓荃,唐余学,等. 重庆一次超级单体风暴的综合分析[J]. 高原气象,2010,29(6):1556-1564.
- [7] 潘玉洁,赵坤,潘益农. 一次强飊线内强降水超级单体风暴的单多普勒雷达分析[J]. 气象学报,2008,66(4):621-635.
- [8] 殷占福,郑国光. 一次强风暴三维结构的观测分析[J]. 气象,2006,32(9):9-16.
- [9] 朱君鉴,刁广秀,曲军,等. 4.28临沂强对流灾害性大风多普勒天气雷达产品分析[J]. 气象,2008,34(12):21-26.
- [10] 俞小鼎,张爱民,郑媛媛,等. 一次系列下击暴流事件的多普勒天气雷达分析[J]. 应用气象学报,2006,17(4):385-391.
- [11] 毕旭,罗慧,刘勇. 陕西中部一次下击暴流的多普勒雷达回波特征[J]. 气象,2007,33(1):70-74.
- [12] 漆梁波,陈春红,刘强军. 弱窄带回波在分析和预报强对流天气中的应用[J]. 气象学报,2006,64(1):112-120.
- [13] 许焕斌,魏绍远. 下击暴流的数值模拟研究[J]. 气象学报,1995,53(2):168-175.
- [14] 孙继松,陶祖钰. 强对流天气分析与预报中的若干基本问题[J]. 气象,2012,38(2):164-173.
- [15] 伍红雨,杜尧东,秦鹏. 华南暴雨的气候特征及变化[J]. 气象,2011,37(10):1262-1269.
- [16] 冯晋勤,汤达章,俞小鼎,等. 新一代天气雷达中气旋识别产品的统计分析[J]. 气象,2010,36(8):47-52.
- [17] 郑媛媛,姚晨,郝莹,等. 不同类型大尺度环流背景下强对流天气的短时临近预报预警研究[J]. 气象,2011,37(7):795-801.