

蔡荣辉,姚蓉,黄小玉,等,2017. 洞庭湖区域雷暴大风分型及预报分析研究[J]. 气象,43(5):560-572.

洞庭湖区域雷暴大风分型及预报分析研究^{*1}

蔡荣辉¹ 姚 蓉¹ 黄小玉² 唐明晖¹ 王青霞¹ 彭 洁³

1 湖南省气象台,长沙 400110

2 国家气象中心,北京 100081

3 湖南省岳阳市气象局,岳阳 414000

提 要: 文章选取 2013—2015 年洞庭湖区域的 15 次雷暴大风天气过程,根据天气形势配置将其分为以下 4 类:低层暖平流强迫类、斜压锋生类、准正压类及高层冷平流强迫类。其中低层暖平流强迫类根据中低层切变线北侧冷平流的强弱又可以分为:强冷暖平流强迫类、强暖平流强迫类和中间类。总结归纳各类雷暴大风过程开始前、影响阶段及过程结束的天气形势配置、雷达回波特征与预报着眼点,为短期、短时天气预报预警提供参考。

关键词: 洞庭湖雷暴大风,形势配置,分型预报

中图分类号: P457

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.05.005

Synoptic Situation Classification and Forecast Analysis of Thunderstorm in Dongting Lake

CAI Ronghui¹ YAO Rong¹ HUANG Xiaoyu² TANG Minghui¹ WANG Qingxia¹ PENG Jie³

1 Hunan Meteorological Observatory, Changsha 400110

2 National Meteorological Centre, Beijing 100081

3 Yueyang Meteorological Office of Hunan, Yueyang 414000

Abstract: Based on the synoptic environment analysis of 15 thunderstorm cases in the area of Dongting Lake from 2013 to 2015, the weather situation can be divided into the following categories: low-level warm advection forcing category, baroclinic frontogenesis category, quasi-barotropic category and upper cold advection forcing category. According to the strength of cold advection in the north of low-level shear line, the low-level warm advection forcing category can also be classified into strong cold and warm advection forcing, strong warm advection forcing and middle category. Summarizing the synoptic situation configuration characteristics of thunderstorms in different stages, the radar echo characteristics and the forecast focus could offer references for short-range, short-time and nowcasting weather forecasts.

Key words: thunderstorm in Dongting Lake, synoptic situation configuration, classified circulation pattern forecast

^{*} 中国气象局气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2015M40)、湖南省气象局重点项目(XQKJ16A003)和中国气象局预报预测核心业务发展专项(CMAHX20160210)共同资助

2016 年 1 月 8 日收稿; 2017 年 2 月 24 日收修定稿

第一作者:蔡荣辉,主要从事精细化天气预报研究. Email:54622813@qq.com

通信作者:黄小玉,主要从事短期、短时天气预报工作及研究. Email:hxylyr@126.com

引言

雷暴大风指由大气对流活动所导致的地面及近地面的强风事件,雷暴大风可以造成飞机失事、翻船、房屋倒塌等灾害,严重威胁着航空、水运、农业和人民的生命财产安全,其突发性强,破坏力大,是我国主要的灾害性天气之一。余蓉等(2012)分析了1971—2000年中国东部地区雷暴大风的空间分布、年际变化等;费海燕等(2016)对2004—2013年中国强雷暴大风的气候特征和环境参数进行分析研究,指出强雷暴大风主要发生在中国中东部地区,其中湖南所处的华中地区强雷暴大风始于4月,有两个发生峰值时间,分别为4和7月。

雷暴大风作为典型的强对流天气之一,具备强对流天气所具有的基本特征。目前来看,对于强对流天气的天气环流分型研究已经有很多,并且其研究成果为我们提供了较好的参考(许爱华等,2014;曹志强和王新,2013)。丁一汇等(1982)研究了飊线发生的天气背景和触发条件,提出了四种天气形势类型:槽后型、槽前型、高压后部型、台风倒槽型或东风波型。陈立祥和刘运策(1989)根据对流层中低层水平风的垂直切变,将广州地区强对流天气分为强切变类和弱切变类。郑媛媛等(2011)则根据天气形势将安徽省强对流天气分为冷涡槽后类和槽前类,并指出冷涡槽后类主要导致雷雨大风和冰雹天气,而槽前类主要导致雷雨大风、短时强降水及龙卷天气。相对来看,雷暴大风的研究多集中于个例分析研究(方翀等,2015;郑永光等,2016),近几年,高时空分辨率资料的应用为雷暴大风预报模型的建立提供了研究基础。例如:钟利华等(2009)对广西2006—2008年45个雷暴大风进行归纳,得到广西雷暴大风强天气的四种天气模型:高原深槽型、台风低槽型、副高西部型和华北低槽型。方翀等(2014)则从静止卫星资料应用角度出发,对2005—2011年18次典型区域雷暴大风过程的强对流云型进行了分类分析,指出大部分站点的雷暴大风天气出现在红外亮温由急剧下降到平缓下降之间的过渡期和红外亮温梯度达到最大的时间点附近或开始下降的时候。

新一代天气雷达是揭示中小尺度强对流天气系统特征的最好探测方法之一。吴涛等(2009)、张家国等(2010)、吴芳芳等(2009)、马中元等(2011)、农孟松等(2014)研究表明,雷暴大风与弓状回波相关。王

彦等(2009)对天津共46次雷暴大风天气过程进行统计分析后,指出当VIL值达到或超过 $40\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,随后VIL值的快速减小对于预警雷暴大风天气有指示意义,这种信息一般能够提前10 min出现。吴翠红等(2012)通过对湖北省东部26个雷暴大风过程研究,将造成雷暴大风的雷达回波进行了分型,并建立了其雷达回波概念模型。刘香娥和郭学良(2012)也通过个例分析揭示了2009年6月3日灾害性大风的产生机理。王秀明等(2013)对2009年6月3日相邻区域出现的单体风暴和弓形回波引起的雷暴大风进行对比,指出低层湿度是风暴结构的决定因素。湖南本地预报员对湖南的雷暴大风天气研究也较多(叶成志等,2013;尹忠海等,2007;陈德桥等,2011),其结果对提高湖南飊线类雷暴大风天气的临近预警时效有利,但仅局限于个例分析。

以上大量研究基于较大区域或各省本地数据,对雷暴大风天气的发生发展进行了深入剖析,但分析研究有一定局限性:一类以天气形势分析为主,另一类以雷达回波特征分析为主,两者紧密结合分析的文献较少。湖南特殊的地形与山地环境导致湖南省强对流天气发生频繁,2013年3月19—20日的一次强对流天气过程,导致4人死亡,4人失踪,直接经济损失14.7亿元;2015年4月3—7日的强对流天气过程共造成10市(州)27县40.1万人受灾,死亡4人,直接经济损失2.9亿元。据统计,洞庭湖区是湖南雷暴大风高发区,其地处湘东北,有湘资沅澧四水注入,长江之水流经,渔业、航运以及湖泊观光旅游等水上交通兴旺,渔船、挖(运)沙船、游轮及货轮来往频繁,因此对该区域分析研究与预报预警技术指标的提炼刻不容缓。

本文收集了2013—2015年发生在长沙雷达监测范围的15次雷暴大风天气过程资料,其中有13次洞庭湖区域出现了雷暴大风,是湖南雷暴大风多发区。根据天气形势配置对15次雷暴大风天气过程分类,同时结合雷达回波特征进行深入细致的分析研究,进而归纳出洞庭湖区各类雷暴大风发生的概念模型及雷达回波特征。为提高湖南雷暴大风短时、短期的无缝隙精细化预报预警提供指导参考作用。

1 过程概况与分类

本文选取15次雷暴大风天气过程(图1),根据

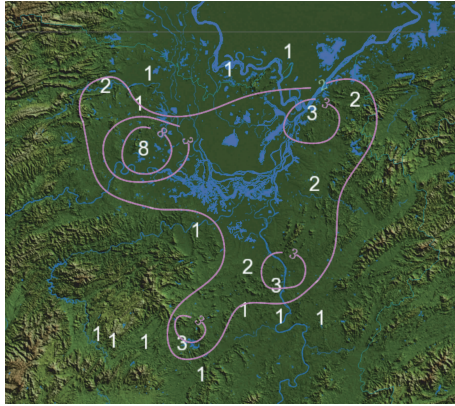


图 1 2013—2015 年 15 次雷暴大风
站次分布图

Fig. 1 Distribution of 15 thunderstorm
cases during 2013—2015

许爱华等(2014)将强对流天气从高低空冷暖平流强弱(相对强弱)、水平强烈锋生(大气的斜压性强弱)等条件出发,可以分为4类:高空冷平流强迫类、低

层暖平流强迫类、斜压锋生类、准正压类。4类中以低层暖平流强迫类最多(共7次,占46.7%),其次斜压锋生类4次,准正压类3次,冷平流强迫类1次。通过分析研究,低层暖平流强迫类中,根据中低层的切变线北侧的冷平流的强弱,又可以分为强冷暖平流强迫类、强暖平流强迫类及中间类。

本文定义大范围雷暴大风为3站及以上站次,低于2站为局地标准。从表1可以看出:强冷暖平流强迫类、台前飊线类及高层冷平流强迫类容易形成大范围的对流天气,高层冷平流强迫类对流最强;强暖平流强迫类有时也有大范围的雷暴大风天气发生;中间类、斜压锋生类及准正压类中副热带高压(以下简称副高)控制类雷暴大风以局地性为主。

从季节上看,3—4月冷空气活动频繁,以斜压锋生类为主;5—6月西南季风加强,以暖平流强迫类为主;7月以后为副高控制及台风影响,以准正压类为主(表1)。

空间分布上(图1),雷暴大风主要分布在洞庭

表 1 15 次雷暴大风分类特征表
Table 1 Characteristics of 15 thunderstorm cases

	分类	过程日期/ 年.月.日	灾害天气 站次	影响区域	主要回波形态及移动方向	过程共同特点
低层 暖平流 强迫类	强冷暖平流 强迫类	2014.3.28	4站大风, 3站冰雹	大范围	飑线;回波整体东南方向移动, 速度快	起初无组织对流单体形成局地 雷暴大风,进而形成飑线,移动 速度加快,对流强,除大范围的 雷暴大风天气外,时有冰雹等强 对流天气发生
		2015.5.1	6站大风	大范围	飑线;回波整体东南方向移动, 速度快	
	强暖平流 强迫类	2013.5.25	1站大风	局地	线状回波;东移北上,移动速度 慢	低空急流最强,北部冷空气很 弱;线状回波或者LS型飑线;整 体向东北移动。一般形成局地 性的雷暴大风
		2015.4.3	1站大风	局地	LS型飑线;东移北上,移动速度 慢	
	中间类	2013.4.29	5站大风	大范围	混合回波;先东移北上,后东移 南压,移动速度缓慢	低空急流介于以上两者之间,以 降水为主,雷暴大风局地性强。 冷空气较强时,也会形成大范围 雷暴大风天气
		2013.6.6	1站大风	局地	混合回波;先东移为主。后逐渐 南压,移动速度缓慢	
		2015.6.1	1站大风	局地	混合回波;回波东移南压,移动 速度缓慢	
斜压锋生类		2013.3.10	2站大风	局地	分散对流回波;东移南压	容易出现大范围的锋后大风;分 散单体风暴造成局地的雷暴大 风;回波移动快,持续的时间短
		2013.3.22	2站大风	局地	分散对流回波;东移南压	
		2013.4.18	2站大风	局地	分散对流回波;东移南压	
		2013.5.28	2站大风	局地	分散对流回波;东移南压	
准 正 压 类	副高控制类	2013.6.20	1站大风	局地	分散对流回波;遍地开花,无明 显移向	由于受热不均匀,午后强对流天 气,回波分散,局地性强
	台前飑线类	2013.7.6	2站大风	局地	弓形回波,混合回波;东移北上	此类过程受台风外围云系影响, 出现台前飑线,并伴有雷暴大风
		2014.7.18	6站大风	大范围	飑线;西移北上	
	高层冷平流强迫类	2014.6.1	4站大风	大范围	东移南压,形成飑线;东移南压	高层冷平流,低层暖平流均强 盛。这类过程的对流最强,常常 有飑线出现

洞及沿湘江一带,常德、岳阳、长沙为雷暴大风的高值区,其中常德总共出现了 8 次雷暴大风。

2 各类雷暴大风的天气形势配置及雷达回波特征分析

根据上述分类,本文重点分析 4 大类(6 小类)的天气形势配置、雷达回波的不同点。并分析每一类天气过程的特点及预报着眼点(表 1 和表 2)。

2.1 暖平流强迫类

此类过程前期中高纬地区 500 hPa 高空环流形

势以平直气流为主,冷空气弱。中低纬青藏高原以东从低层到中层均以西南风为主,500 hPa 槽前的暖平流与正涡度平流不断加强,700、850 hPa 西南急流加强,同时地面西南倒槽得到强烈发展。 $T-\ln p$ 图上温度及露点曲线具有呈“喇叭口”分布的“上干下湿”特点,为典型的雷暴大风特征。在弱冷空气的触发下,地面常有气旋波形成,造成强对流天气,并伴有雷暴大风天气发生。

根据此类过程在中低层(700 及 850 hPa)切变线北侧的冷平流的不同,又可以分为 3 类:强冷暖平流强迫类、强暖平流强迫类和中间类。

表 2 各种类型不同时期天气形势
Table 2 Weather conditions in different periods

	类型	500 hPa	850、700 hPa	地面	$T-\log p$
开始 前	暖平流强迫类	高原东部低槽,江南、华南为槽前西南气流控制	西南气流不断加强,急流轴顶部到达江南地区的中北部	前期不断回暖,西南倒槽逐渐加强,常有气旋波形成	低层到高层暖平流强盛;露点曲线“上干下湿”的“喇叭口”分布
	斜压锋生类	经向环流,高原东部低槽	有时能达到西南急流标准,湿度较小	地面倒槽发展	垂直风切变比较大,层结不稳定
	准正压类	台风倒槽	台风倒槽	辐合线	不稳定能量及垂直风切变均较大
	高层冷平流强迫类	经向环流,湖南位于槽后西北气流控制	低空急流形成,切变线位于湘北	辐合线	不稳定能量大,风垂直切变大
影响 阶段	强冷暖平流强迫类	低槽东移至湘黔交界地区	西南低涡东移,西南急流达到最强期,切变线位于湘北	地面辐合线或中尺度低压形成	对流不稳定,不稳定能量大,整层湿度增加
	强暖平流强迫类	低槽稳定少动	西南低涡缓慢东移,西南急流继续加强	地面辐合线东移	暖平流及整层湿度增加
	中间类	低槽稳定少动	西南急流及切变线稳定少动	辐合线缓慢向南移动	“喇叭口”形状演变成整层湿层的特点
	斜压锋生类	低槽缓慢东移	中低层切变线快速南压	地面强冷空气快速南下	“喇叭口”大风层结特征
	准正压类	台风倒槽与西风槽线结合	台风倒槽	地面辐合线	高温高湿,不稳定能量大
	高层冷平流强迫类	湖南位于槽后西北气流控制	低空急流及切变线	辐合线	不稳定能量加大,整层的湿度增加
过程 结束	强冷暖平流强迫类	低槽移出湖南境内	西南急流快速减弱,切变线以北的偏北风加强超过 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,切变线南压到湘南	辐合线南压至湘南	层结稳定
	强暖平流强迫类	低槽稳定少动	西南急流迅速加强,切变线北抬移出湘北	辐合线北抬	层结稳定
	中间类	低槽稳定少动	西南急流减弱,切变线缓慢南压	辐合线南压	层结稳定
	斜压锋生类	低槽东移	切变线南压至湘南	冷锋南压	层结稳定
	准正压类	台风倒槽西移	台风倒槽西移	辐合线向西北方向移动	层结趋于稳定,整层湿度大
	高层冷平流强迫类	槽后西北气流	西南急流减弱,切变线南压	辐合线向南移动	层结趋于稳定

2.1.1 强冷暖平流强迫类

这类过程开始后,中低层切变线两侧的冷暖平流均很强。

(1) 天气形势配置分析

过程开始后(图 2a),500 hPa 低槽东移至湘黔交界地区,湘东北为槽后冷平流;700、850 hPa 有西南低涡东移,西南急流达到过程的最强时期,切变线位于湘北;随着地面冷空气侵入倒槽,在湘东北出现了雷暴大风等强对流天气。图 2b 长沙上空为对流不稳定层结,同时具有较大的不稳定能量,整层湿度明显增加。由于中低层冷暖平流都强盛,辐合带狭窄,辐合旺盛,容易形成飑线,除雷暴大风天气外,常常会出现冰雹等强对流天气。随着中低层的西南急流快速减弱,切变线以北的偏北风迅速加强,并且风速超过 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,切变线及地面辐合线快速南压至湘南,导致强对流天气过程快速移过湖南。

这类过程主要特点是:过程前期与开始期,中低层暖平流十分旺盛,导致不稳定能量迅速增加;而过程开始后,中低层冷平流迅速加强。强对流天气发生在切变线附近,往往有飑线形成,移动速度快,在低层暖平流强迫类中,这类过程的对流最强。

(2) 雷达回波特征分析

发展初期对流单体比较分散(图略),“正负相间”的速度区域与强对流单体相对应,导致局地的大风天气,零速度线成“S”型(图略)。因暖平流强,不断有新对流单体生成补充合并,逐渐发展成线状回波、弓形回波,最后发展成东北—西南向的长飑线(图 3a),强回波中心超过 60 dBz,因冷平流强盛,飑线加速南压。速度辐合线和速度大值区(图 3b)与飑线内弓型回波对应;对流发展旺盛处,不断有中气旋生成。娄底 18:37 出现大风时位于飑线前沿反射率因子梯度大值区、 $>27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 速度大值区内;垂直剖面 $>55 \text{ dBz}$ 的反射率因子扩展到 6 km 以上(图 3c),存在明显的穹窿结构,此时强反射率因子核下降到底层;速度图上 $>27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 大风区扩展到 9 km 以上(图 3d)。

此类雷暴大风天气的回波特征是:初始阶段以混合回波为主,易形成局地雷暴大风;随着中低层切变线北部的冷平流加强,回波演变成飑线,移动速度加快,对流旺盛,除大范围的雷暴大风天气外,时有冰雹等强对流天气发生。此类雷暴大风天气的预警着眼点有底层的速度大值区、径向速度辐合线。

2.1.2 强暖平流强迫类

此类过程始终以暖平流强迫为主,中低层切变

线北部的冷空气很弱。

(1) 天气形势配置分析

过程开始后(图 4a),500 hPa 低槽东移贵州东部;700、850 hPa 有西南低涡东移,西南急流继续加强,切变线位于湘北,850 hPa 温度脊线继续北推;随着地面辐合线的东移,在湘东北出现了雷暴大风等强对流天气。此类过程由于低层暖平流强盛,常会形成一条“西北—东南”向的 LS(leading stratiform)型飑线(McAnelly and Cotton,1986),强对流天气向东北方向移动。图 4b 也可以看出过程开始后风随高度顺转为暖平流,整层湿度明显增加。过程结束时 700、850 hPa 西南急流不断加强及切变线继续北推,强对流天气向北移出湖南。

此类过程的影响系统是中低层风速辐合线及地面中尺度辐合线,由于中低层的暖平流特别强,北部冷空气很弱,强对流天气北推移出湖南。这类过程容易形成“西北—东南”向的 LS 型飑线。

(2) 雷达回波特征分析

发展初期与前类过程相似。发展的过程中,北侧和南侧分别有新旧对流单体更替合并演变成 LS 型飑线(图 5a),和以往研究的飑线不同,该 LS 型飑线移动方向前缘(北面)是宽广的混合性回波,LS 型飑线后缘是反射率因子梯度大值区。高仰角、低仰角分别出现了明显的速度辐合(图略)、速度大值区(图 5b),中气旋短暂出现。和强冷暖平流强迫类不同,整个对流体东移为主,北上移动速度相对缓慢,在洞庭湖区,对流单体形成“列车效应”,而强对流单体所经之处,给洞庭湖区带来短时的雷暴大风天气。沿着岳阳所在的位置做大风产生(20:49)前的回波垂直剖面(20:40): $>65 \text{ dBz}$ 的强回波扩展到 7 km 以上(图 5c),存在明显的穹窿结构,且强反射率因子核下降到底层; $>27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 大风区扩展到 9 km 以上且出现强辐散(图 5d)。

此类雷暴大风天气的回波特征是 LS 型飑线,回波向北移出洞庭湖区。预警着眼点为下降到底层的强反射率因子核、底层的速度大值区、速度辐合线、高层纯辐散。

2.1.3 中间类

此类过程中低层切变线北侧的冷平流在以上两者之间,5—6 月居多,以强降水为主,伴有局地的雷暴大风。预报预警难度最大,如 2015 年 6 月 1 日导致湖北监利“东方之星”客轮翻沉事件的雷暴大风天气过程。

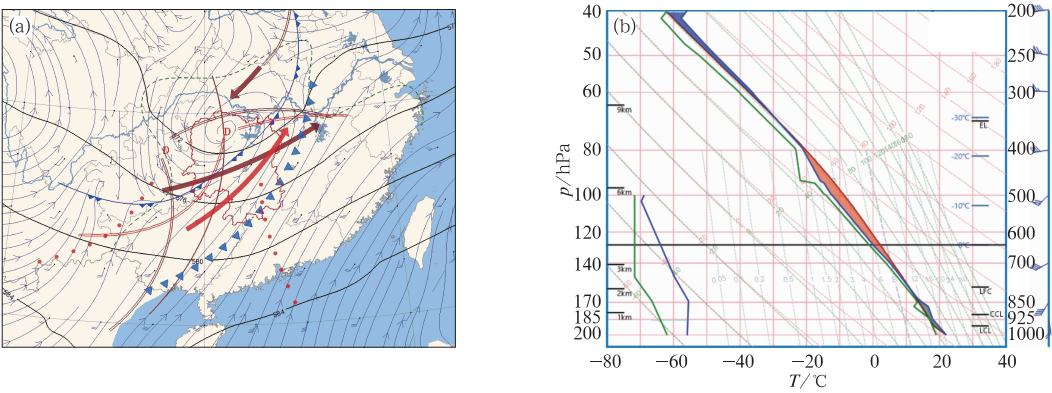


图2 2014年3月28日20时综合分析图 (a) 及长沙站 (57679) 探空曲线图 (b)
Fig.2 Synoptic situation configuration (a) and Changsha T-ln p (b) at 20:00 BT 28 March 2014

(冷锋、暖锋、850 hPa温度露点差、850 hPa温度脊、G 高压、D 低压、
200 hPa急流、500 hPa温度槽、500 hPa槽线、700 hPa切变线、700 hPa急流、
850 hPa切变线、850 hPa急流、925 hPa急流、850 hPa流场、850 hPa风场, 下同)

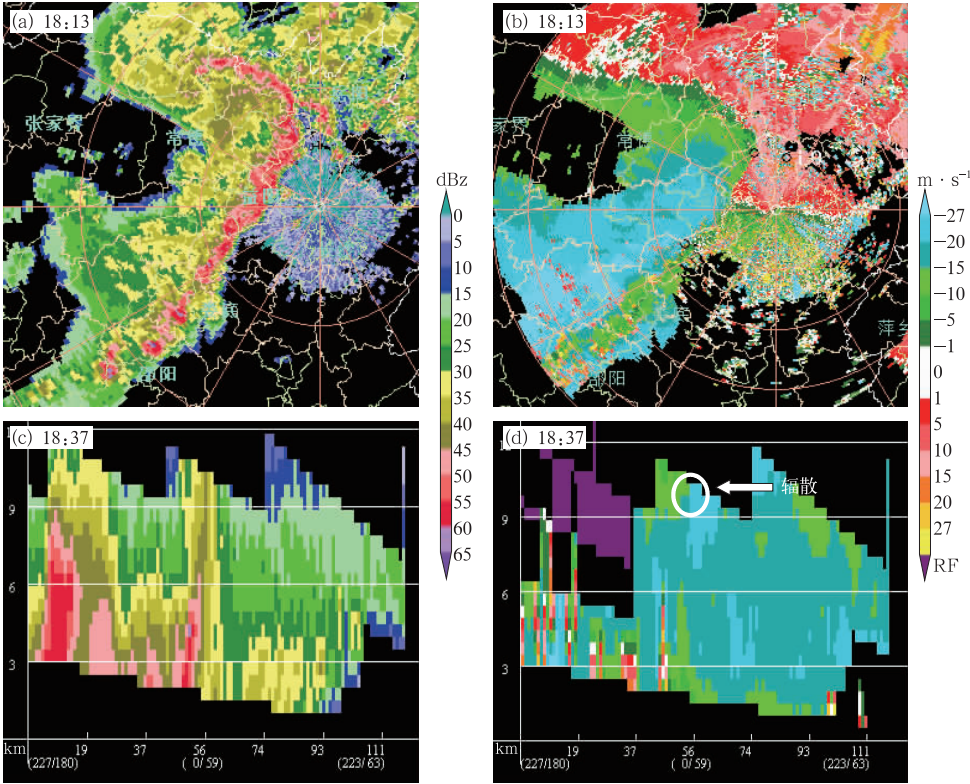


图3 2014年3月28日18:13长沙雷达0.5°仰角反射率因子图(a,单位:dBz)和
平均径向速度图(b,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),18:37反射率因子垂直剖面图(c,单位:dBz)
和径向速度垂直剖面图(d,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
Fig.3 Base reflectivity chart (a, unit: dBz) and radial velocity chart (b, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
at 18:13 BT in Changsha, vertical section of reflectivity (c, unit: dBz) and
velocity (d, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) at 18:37 BT 28 March 2014

(1) 天气形势配置分析
过程开始后(图 6a)500 hPa 低槽与温度槽稳定

少动;700、850 hPa 切变线位置位于长江以北,江
南、华南为大范围的湿区;地面辐合线移动缓慢,仍

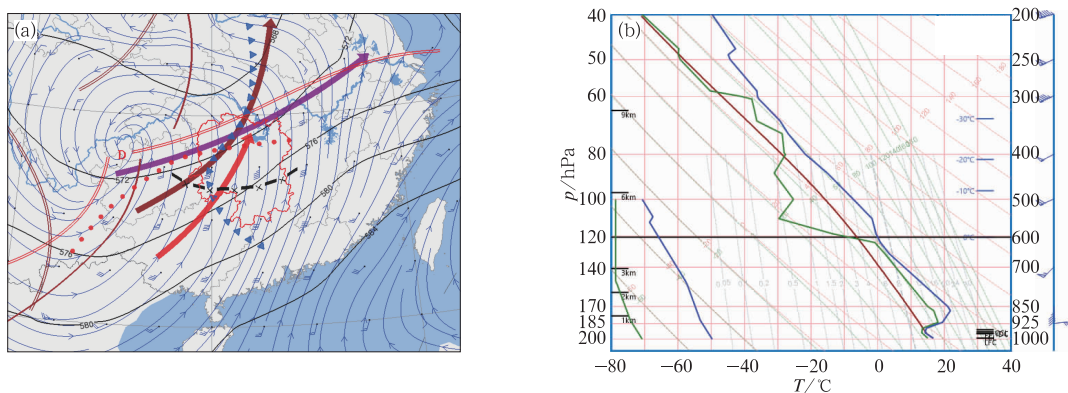


图 4 同图 2, 但为 2015 年 4 月 3 日 20 时

Fig. 4 Same as Fig. 2, but for 20:00 BT 3 April 2015

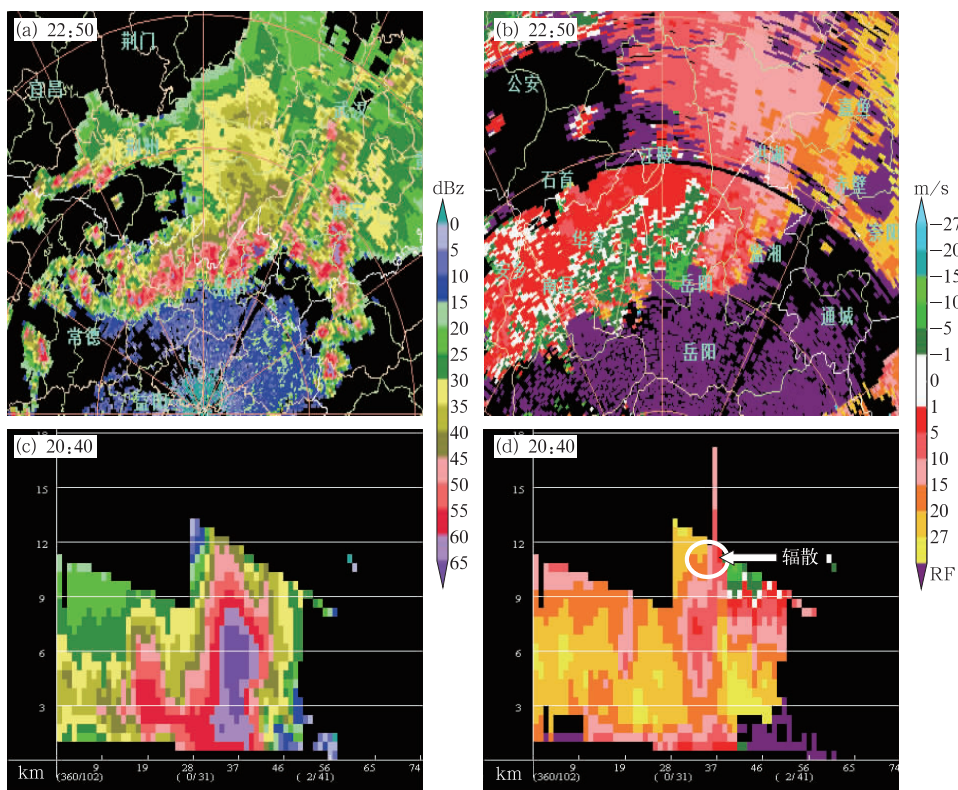


图 5 同图 3, 但为 2015 年 4 月 3 日 22:50(a,b)和 20:40(c,d)

Fig. 5 Same as Fig. 3, but for 22:50 BT (a, b) and 20:40 BT (c, d) 3 April 2015

位于湘北, 此时在湘东北出现了雷暴大风等强对流天气。图 6b 也可以看出过程开始后, 低层风速增加, 高层北风向下传, 不稳定能量增加; 温度及露点曲线呈“喇叭口”分布的“上干下湿”特点, 为典型的雷暴大风特征。由于冷空气的影响, 这类强对流天气向东南方向移动。随着不稳定能量的释放, 对流天气结束后 500 hPa 低槽及中低层西南急流、切变线向南缓慢移动。因此此类强对流天气过程结束后, 仍会有较强的降水发生。

此类过程由于北部有弱冷空气影响, 系统缓慢向南移动, 降水比较明显, 对流性不太强, 雷暴大风经常是降水刚开始出现, 并且局地性很强, 雷暴大风的落区预报难度较大。

(2) 雷达回波特征分析

发展初期与前两类相似。东移过程中不断发展成多单体线回波带(图 7a), >50 dBZ 回波单体成西南—东北向排列镶嵌于其中, 和强回波单体相对应的是“正负相间”的速度区域(图 7b), 此后, 多单体

线回波带中强回波(>50 dBZ)演变成弓状。和“东方之星”客轮翻沉事故息息相关的极端大风正是“弓形回波”造成的,其最强反射率因子仅 55 dBZ 左右,比一般的强弓形回波强度略偏弱,但前侧有明显的反射率因子梯度大值区。沿着监利所在的位置做大风(21:32)产生前的垂直剖面(21:26),相比较而言,强回波扩展的高度并不高,为低质心的高效率的降水回波(图 7c),强反射率因子核下降到底层,底层

有小块的 $17\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 大风核(图 7d),且 $6\sim 9\text{ km}$ 高度有径向辐合、 12 km 以上有明显的速度大值区。

此类雷暴大风天气过程的回波特征较前两种明显要弱,以强降水为主,短暂的“弓形回波”能造成局地雷暴大风,预报难度较大;预警的着眼点为“弓形回波”相伴随的“正负相间”的速度区域、径向速度辐合线。

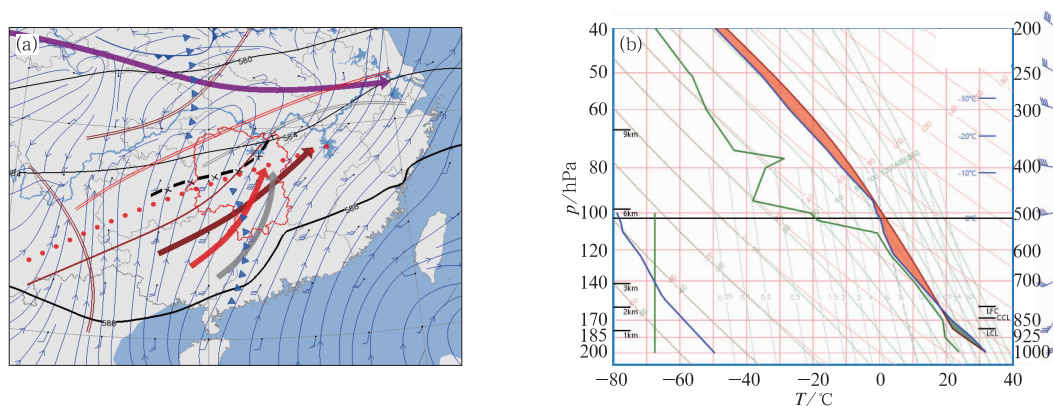


图 6 同图 2,但为 2015 年 6 月 1 日 20 时

Fig. 6 Same as Fig. 2, but for 20:00 BT 1 June 2015

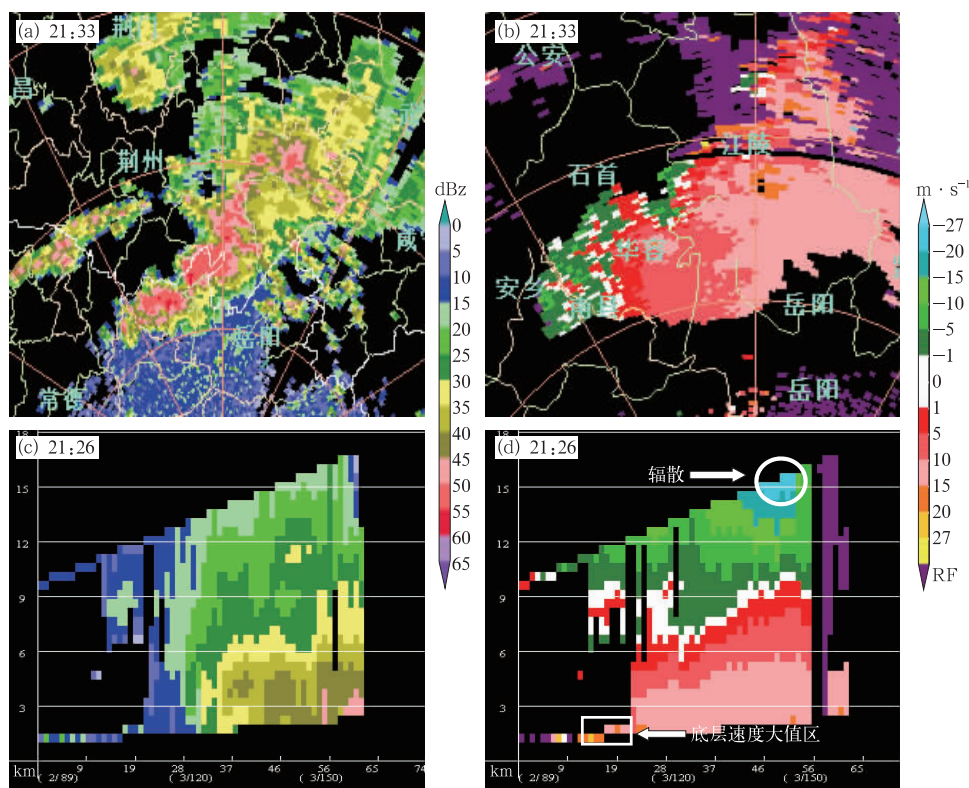


图 7 同图 3,但为 2015 年 6 月 1 日 21:33(a,b)和 21:26(c,d)

Fig. 7 Same as Fig. 3, but for 21:33 BT (a, b) and 21:26 BT (c, d) 1 June 2015

2.2 斜压锋生类

2.2.1 天气形势配置分析

这类过程一般出现在 5 月以前,冷空气活动明显。过程前期(图略)500 hPa 中高纬地区以经向气流为主,冷空气强;中低层西南气流加强,有时也能达到低空急流的强度,但较低层暖平流强迫类要弱得多,中低层湿度较小;过程前期地面西南倒槽发展迅速,回暖明显。 $T-\ln p$ 图(图略)上垂直风切变比较大,层结不稳定,有利于对流天气发生。

过程开始后(图 8a),500 hPa 低槽缓慢东移,东亚大槽向南发展,带动地面冷空气快速南下,中低层切变线南压,西南气流快速减弱,湿度有所增加。图 8b 上高层有干冷空气入侵,低层湿度增加,形成“喇叭口”大风层结特征。在强冷空气的触发下,常有大范围的锋后大风出现;由于湿度较小,能形成一些局地的强对流天气,并伴有雷暴大风天气发生。

随着 500 hPa 低槽东移,中低层切变南压,地面受锋后偏北风控制。强对流天气结束。此类过程的降水不明显。

此类过程最明显的特点是中高纬度环流形势以经向环流为主,引导地面强冷空气快速南下,造成大范围的锋后大风天气,但雷暴大风局地性很强。

2.2.2 雷达回波特征分析

此类雷暴大风和其他的类型相比,反射率因子整体偏弱(图 9a),但出现雷暴大风之处的反射率因子中心也达到了 60 dBz,速度图特征不明显,仅体现在与强反射率因子对应有“正负相间”的速度区域(图略)出现。沿着岳阳所在的位置做大风产生(04:14)时的垂直剖面: >55 dBz 的强回波扩展到 7 km 以上(图 9b),存在明显的穹窿结构,强反射率因子核下降到底层;9 km 高度有明显的辐散,底层有速度辐合(图略)。

此类雷暴大风天气过程的反射率因子特征是比

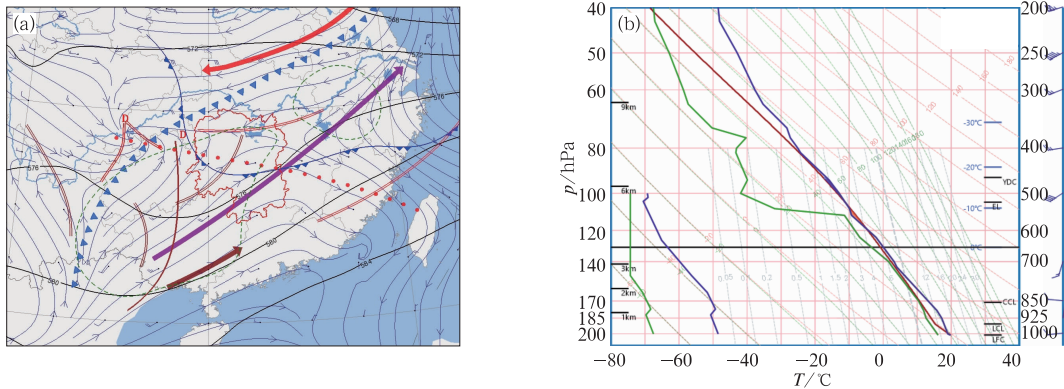


图 8 同图 2, 但为 2013 年 3 月 10 日 08 时

Fig. 8 Same as Fig. 2, but for 08:00 BT 10 March 2013

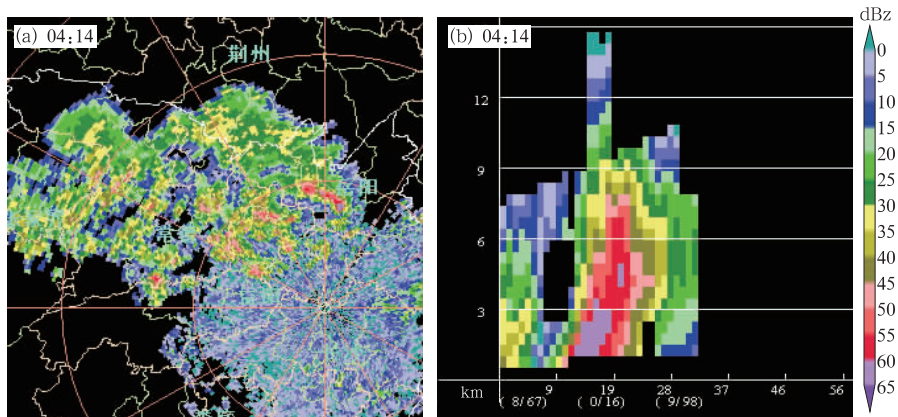


图 9 同图 3a 和 3c, 但为 2013 年 3 月 10 日 04:14

Fig. 9 Same as Figs. 3a and 3c, but for 04:14 BT 10 March 2013

较分散,成絮状,没有明显的组织性,局地性强;预警有效信息是与径向速度图上“正负相间”的速度区域伴随的强对流回波单体,此类雷暴大风天气预报相对其他类而言,比较难以预警。

2.3 准正压类

这类过程有两种情况:一是受副高控制,由于受热不均匀,容易形成午后对流;另一类是受台风外围气流影响,在台风倒槽的位置容易形成台前飑线。第一类形式比较简单,主要是副高控制,形成午后的对流,本文不详细描述,主要针对第二类具体分析。

2.3.1 天气形势配置分析

过程开始前(图略),台风位于东海或南海,洞庭湖区处于台风外围云系控制区域。前期由于受副高控制,气温很高,不稳定能量积聚。过程开始后(图10a),洞庭湖区受台风倒槽及西风槽的影响,850 hPa 温度脊与地面辐合线重合。地面辐合线附近常有台前飑线形成,在飑线上常有雷暴大风天气发生。图10b 上不稳定能量仍很大,在强对流天气开始时,高层湿度减小,上干下湿层结形成,有利于形成雷暴大风。

随着台风的西移或向东北方向移动,湘东北位于倒槽的后部,地面辐合线消失,不稳定能量得到释放,强对流天气结束(图略)。

这类过程的特点是由受副高控制或受台风外围云系影响,为准正压大气。前期气温高、不稳定能量大,在地面辐合线的触发下,常有雷暴大风发生,并伴有雷雨天气。

2.3.2 雷达回波特征分析

发展初期,在湘赣中南部地区有多个分散的强

风暴单体生成(图略),逐渐合并发展成东西向飑线(图11a),飑线内部含有多个弓型回波,飑线前沿是高反射率梯度区;速度图上(图11b)有明显的径向速度辐合、速度大值区及“正负相间”的速度区域。飑线发展到最强盛的阶段时有阵风锋出现,速度大值区($>27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)面积达到最大。沿着株洲所在的位置做雷暴大风产生(19:12)时的垂直剖面:虽存在穹窿结构(图11c),但强回波扩展仅5 km左右,且强反射率因子扩展到底层,为低质心暖性降水回波结构。12 km 处有辐散(图11d),且底层有速度大值区、中层的径向辐合特别明显。

此类雷暴大风天气分为两类:一类是副高控制类,反射率因子特征是分散块状对流回波;另一类是台前飑线类,反射率因子特征是回波初始为块状回波,不断生成与合并,形成有组织的飑线,台前飑线预警的着眼点为速度大值区和明显的径向辐合。

2.4 高层冷平流强迫类

这类过程属于经向环流类,在湖南出现较少,但对流最强。

2.4.1 天气形势配置分析

过程开始前(图略)200 hPa 中高纬以经向环流为主,极涡较常年位置偏南,湖南处于高空辐散区。500 hPa 由于环流经向度不断加强,东北冷涡不断向南移动,当低涡位置越过 40°N 时,洞庭湖区由于平直气流转为冷涡后的西北气流控制,高层冷平流加强。地面前期回暖明显,不断增温增湿,700、850 hPa 均有低空急流形成。高层冷平流、低层暖平流有利于发生强对流天气。

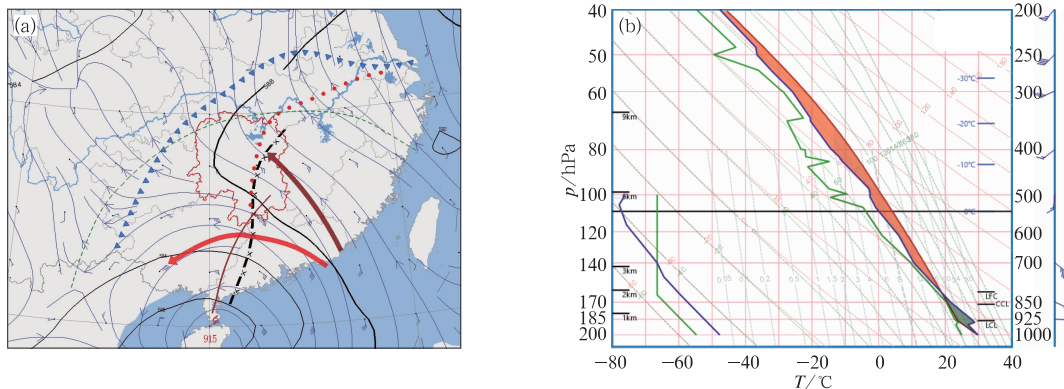


图10 同图2,但为2014年7月18日20时

Fig. 10 Same as Fig. 2, but for 20:00 BT 18 July 2014

过程开始后(图 12a),高层西北风不断下传,东北冷涡的位置进一步南压,对流层中高层冷平流加强。中低层切变线位置也有所南压,在切变线及地面辐合附近有飑线形成。图 12b 上不稳定能量加大,整层的湿度有所增加。这类过程能造成十分强烈的飑线等对流天气。

此类过程的特点是受到高层强冷平流作用,加之中低层暖平流强盛,有飑线形成。此类型对流最

强盛,容易形成大范围的雷暴大风。此类过程在湖南较为少见,由于 500 hPa 为西北气流,预报员容易忽视而导致漏报。

2.4.2 雷达回波分析

发展初期,在湘西南、湘东北有分散的块状强对流单体快速生成(图略),逐渐演变成东北—西南向的强对流风暴带,速度图上和强对流单体对应是速度大值区。强对流风暴带演变成强“弓形回波”,最

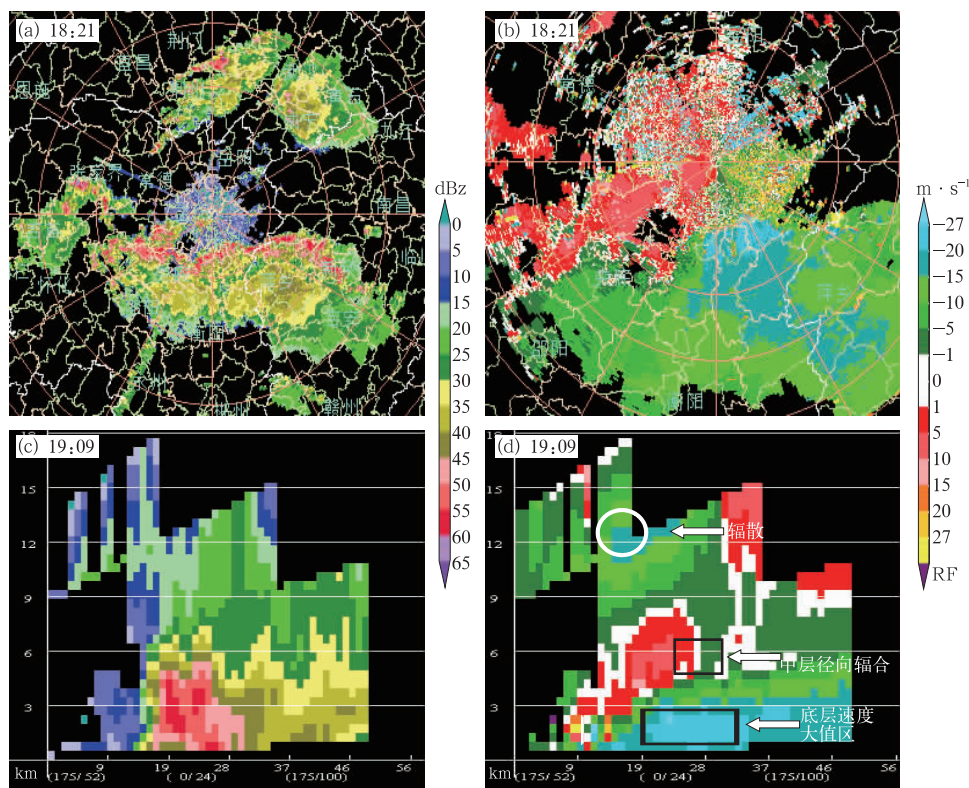


图 11 同图 3, 但为 2014 年 7 月 18 日 18:21(a, b) 和 19:09(c, d)

Fig. 11 Same as Fig. 3, but for 18:21 BT (a, b) and 19:09 BT (c, d) 18 July 2014

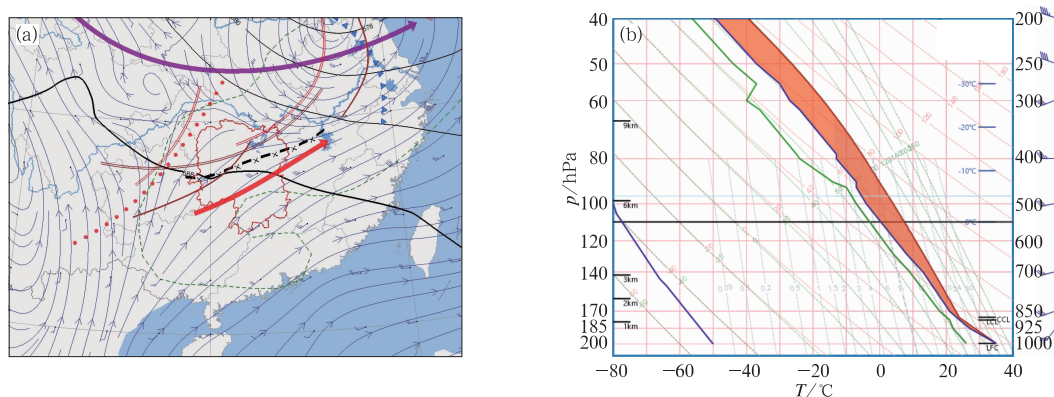


图 12 同图 2, 但为 2014 年 6 月 1 日 14 时

Fig. 12 Same as Fig. 2, but for 14:00 BT 1 June 2014

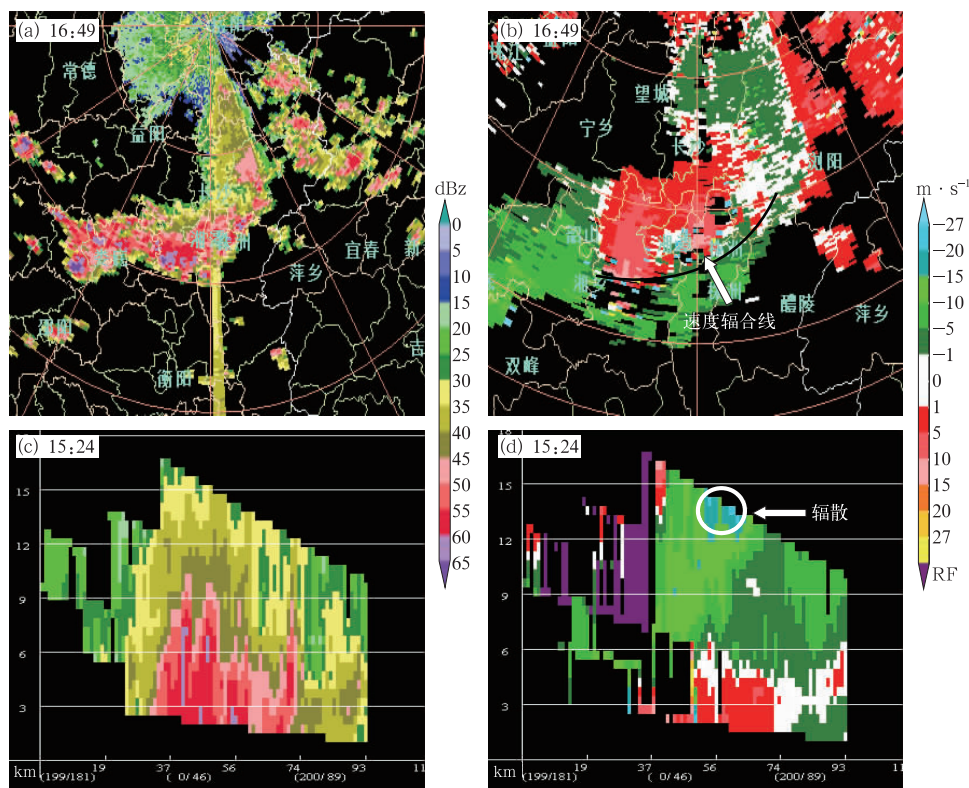


图13 同图3,但为2014年6月1日16:49(a,b)和15:24岳阳雷达(c,d)

Fig. 13 Same as Fig. 3, but for 16:49 BT (a, b) and in Yueyang at 15:24 (c, d) 1 June 2014

终发展成飑线(图13a),与“弓形回波”相对应的是速度辐合线(图13b)。此类飑线的明显特征:飑线后侧没有出现宽广的混合性降水回波,其反射率因子梯度也非常大,零速度是反“S”型(图略)。相对比其他类的而言,冷平流类回波是4类中最强的一类,但值得一提的是,风暴单体虽然很强,但没有中气旋的存在,最多有三维切变存在,仅维持一个体扫。沿韶山所在的位置做雷暴大风(15:27)产生时的垂直剖面:存在明显的高悬垂强回波、强反射率因子扩展到底层(图13c);底层速度辐合、高层辐散特征明显(图13d)。

此类过程初始是分散的块状强对流单体,随着高层冷平流向下传,逐渐演变成飑线,是对流最盛强的类型,容易形成大范围的雷暴大风。此类雷暴大风天气预警的着眼点是速度辐合。

3 结论与讨论

通过对2013—2015年洞庭湖区域的15次雷暴大风天气过程天气形势及相应雷达回波特征对比分析,形成以下雷暴大风短期、短时预报预警着眼点:

(1) 洞庭湖区域雷暴大风主要分为4类:低层暖平流强迫类、斜压锋生类、准正压类及高层冷平流强迫类。其中低层暖平流强迫类根据中低层切变线北侧冷平流的强弱又可以分为:强冷暖平流强迫类、强暖平流强迫类和中间类。

(2) 各类雷暴大风天气过程的天气形势特点、天气过程的演变及对流天气的强弱有显著差异。低层暖平流强迫类及准正压类中高纬500 hPa为平直气流类,而另两类为经向环流类。

(3) 从雷达回波移动来看,除强暖平流强迫类和台前飑线类向东北或西北方向移动外,其他各类回波单体向东北方向移动,但回波整体向东南方向移动;强冷暖平流强迫、强暖平流强迫、台前飑线及高层冷平流强迫类容易形成有组织的飑线,对流旺盛,而其他类以局地对流为主。就反射率因子强度整体平均值而言,高层冷平流强迫类最强,而斜压锋生类最弱。此外,大风过程中,除准正压类零速度特征并不明显外,其余5类零速度特征都很明显:高层冷平流强迫类速度图零速度呈反“S”型,其余4类的零速度线呈“S”型。反射率因子垂直剖面特征来看,高层强冷平流强迫类和低层强暖平流强迫类对

流伸展的高度最高,而中间类对流伸展的高度最低,表现为低质心的强降水回波特征,这类雷暴大风过程主要是以短时强降水为主,局地伴随大风的产生,因此相对而言,这类大风是最难预警的。

(4) 强反射率因子核扩展到底层、径向速度辐合带、低层的速度大值区,与强反射率因子相伴的速度大值区,是雷暴大风天气的预警着眼点,而对流发展初期“正负相间”的速度区域的存在预示着对流会进一步发展。雷暴大风天气的预警不仅只关注反射率因子及其演变趋势,更要重点关注速度特征。

(5) 低层暖平流强迫类的特点是中层西南急流十分强盛,500 hPa以平直气流为主。强冷暖平流强迫类容易形成飑线;强暖平流强迫类由于不稳定能量较大,容易形成LS型飑线;中间类由于中低层湿度大,切变线移动缓慢,以混合降水回波为主,雷暴大风以局地性为主。

(6) 斜压锋生类过程最明显的特点是江南、华南前期回暖明显,之后有地面强冷空气大举南下影响我国长江以南地区,容易形成锋后偏北大风,雷暴大风局地性强。此类雷暴大风天气过程的反射率因子特征是比较分散,呈絮状,没有明显的组织性,局地的强回波单体引发雷暴大风;预警有效信息是与径向速度“正负相间”的速度区域伴随的强对流回波单体,此类雷暴大风天气相对其他类而言,比较难以预警。

(7) 准正压类受副高控制或受台风外围影响,为准正压大气。前期气温高、不稳定能量大,在地面辐合线的触发下,常有强对流天气发生,并伴有雷雨天气。此类雷暴大风天气分为两类:一类是副高控制类的反射率因子回波特征是分散块状对流回波;另一类是台前飑线类的回波特征为有组织的飑线。台风飑线类预警的着眼点为速度大值区和速度辐合线。

(8) 高层冷平流强迫类由于受到高层强冷平流作用,加之中低层暖平流很强,在湖南易产生以飑线为主的强对流天气。回波特征有飑线生成,是对流最盛强的类型,容易形成大范围的雷暴大风。此类雷暴大风天气预警的着眼点为速度辐合线。

15 个个例分为4大类(6小类),每类的个例较少,具有一定的局限性,但分析遵循天气学原理理论基础及多普勒天气雷达原理,并且2016年出现的几次雷暴大风过程与以上分类的特征相似,对雷暴大风短时、短期预报具有一定的参考指导作用。

参考文献

- 曹治强,王新,2013.与强对流相联系的云系特征和天气背景[J].应用气象学报,24(3):365-372.
- 陈德桥,刘应军,唐明晖,等,2011.湖南一次飑线过程的多普勒雷达回波特征[J].干旱气象,29(2):218-223.
- 陈立祥,刘运策,1989.广州地区强对流天气的统计特征和分类特征[J].热带气象学报,5(2):170-179.
- 丁一汇,李鸿洲,章名立,等,1982.我国飑线发生条件的研究[J].大气科学,6(1):18-27.
- 方翊,俞小鼎,朱文剑,等,2015.2013年3月20日湖南和广东雷暴大风过程的特征分析[J].气象,41(11):1305-1314.
- 方翊,郑永光,林隐静,等,2014.导致区域性雷暴大风天气的云型分类及统计特征分析[J].气象,40(8):905-915.
- 费海燕,王秀明,周小刚,等,2016.中国强雷暴大风的气候特征和环境参数分析[J].气象,42(12):1513-1521.
- 刘香娥,郭学良,2012.灾害性大风发生机理与飑线结构特征的个例分析模拟研究[J].大气科学,36(6):1150-1164.
- 马中元,叶小峰,张瑛,等,2011.江西三类致灾大风天气活动与回波特征分析[J].气象,37(9):1108-1117.
- 农孟松,翟丽萍,屈梅芳,等,2014.广西一次飑线大风天气的成因和预警分析[J].气象,40(12):1491-1499.
- 王秀明,周小刚,俞小鼎,2013.雷暴大风环境特征及其对风暴结构影响的对比研究[J].气象学报,71(5):839-852.
- 王彦,唐熠,赵金霞,等,2009.天津地区雷暴大风天气雷达产品特征分析[J].气象,35(5):91-96.
- 吴翠红,韦惠红,牛奔,2012.湖北东部雷暴大风雷达回波特征分析[J].南京气象学院学报,35(1):64-72.
- 吴芳芳,王慧,韦莹莹,等,2009.一次强雷暴阵风锋和下击暴流的多普勒雷达特征[J].气象,35(1):55-64.
- 吴涛,张火平,吴翠红,2009.一次初夏强对流天气的弓形回波特征分析[J].暴雨灾害,28(4):306-312.
- 许爱华,孙继松,许东蓓,等,2014.中国中东部强对流天气的天气形势分类和基本要素配置特征[J].气象,40(4):400-411.
- 叶成志,唐明晖,陈红专,等,2013.2013年湖南首场致灾性强对流天气过程成因分析[J].暴雨灾害,32(1):1-10.
- 尹忠海,刘应军,黎祖贤,等,2007.湘中“6.26”雷暴大风过程的多普勒雷达产品分析[J].暴雨灾害,26(4):319-322.
- 余蓉,张小玲,李国平,等,2012.1971—2000年我国东部地区雷暴、冰雹、雷暴大风发生频率的变化[J].气象,38(10):1207-1216.
- 张家国,王平,吴涛,2010.鄂东一次下击暴流天气的中尺度分析[J].气象科学,30(2):239-244.
- 郑永光,田付友,孟智勇,等,2016.“东方之星”客轮翻沉事件周边区域风灾现场调查与多尺度特征分析[J].气象,42(1):1-13.
- 郑媛媛,姚晨,郝莹,等,2011.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,07(07):795-801.
- 钟利华,曾小团,胡宗煜,等,2009.桂林雷暴大风临近预报研究[J].气象研究与应用,30(S2):78-80.
- McAnelly R L, Cotton W R, 1986. Mesoscale characteristics of an episode of meso-alpha-scale convective complexes[J]. Mon Wea Rev, 114:1740-1770.