

文章编号:1673-8411 (2015) 01-0014-06

一次飑线大风天气过程成因分析

陈伟斌, 陈见, 赵金彪, 翟丽萍

(广西气象台, 广西 南宁 530022)

摘要:利用常规气象资料、自动站资料、多普勒雷达资料及NCEP再分析资料,分析了2014年3月31日广西大风天气过程的环境背景场、层结结构、垂直风切变场、局地层结特征、物理量配置、雷达回波及地面风场特征,得到一些有意义的结论,可以为此类天气过程预报提供参考。

关键词:飑线;大风;成因分析

中图分类号:P458.1+1

文献标识码:A

Causative Analysis of a Squall Line Windy weather Process

Chen Weibin Chen Jian Zhao Jinbiao Zhai Liping

(Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022)

Abstract: Based on conventional observation data, automatic weather station data, Doppler radar data and NECP 10×10 data, the environmental background, stratification structure, vertical wind shear field, local stratification characteristics, physical configuration, radar echo features as well as surface wind features of high wind process on 31th March 2014 are analyzed. Some meaningful conclusions were gotten to provide reference for forecasting this type of weather.

Key words: Squall Line, High Wind, Causative analysis

0 前言

强对流天气是春季广西发生频率高的灾害性天气。强对流天气包括短时强降水、冰雹、雷雨大风等,其中地面大风出现频率最高,其是指大气对流活动所导致的地面及近地面的强风事件。雷暴大风来势突然,造成的灾害重,因此引起气象工作者的极大关注,很早即对其进行研究,取得有很多有意义的进展。Fujita^[1]最早根据大风的水平尺度分为4km以下的微下击暴流和4km以上的宏下击暴流,进一步根据地面降水量和回波强度,分为干下击暴流和湿下击暴流。后来一些研究^[2-3]将水平尺度10km以下的强风称为下击暴流,将大范围的地面强风事件称为线状风暴,其是由快速移动的强飑线或弓形回波所造成的大范围长时间维持的地面强风事件。我国气象工作者较早的对造成雷暴大风的飑线的环流背景

场进行了分析,如丁一汇等^[4]在1982年对我国飑线的发生条件进行了研究,将飑线发生的天气背景分为4个类型,并对不同天气背景下飑线的物理条件进行了对比分析。随后更多的研究关注了飑线的结构特征、发生发展机理^[5-9]。

针对广西雷暴大风的研究也取得了一些有意义的进展^[10-13],然而基于强对流天气影响系统尺度小,预报难度大,因此仍然十分必要对其进行研究,2014年3月31日广西北部、东部由具有强组织性的飑线(弓形回波)造成了一次大范围大风天气过程,本文拟对其成因进行分析,试图揭示其形成原因,以期在今后此类天气过程的预报提供参考。

1 天气概况

本次过程主要发生于3月30日22时-31日08时,由一条强飑线(弓形回波)自西北向东南扫过

广西北部、东部造成,具有强的系统性,大风出现时间有序,大风方向以偏北方向为主,为地面直线型大风^[3],过程累计 66 站次出现阵风大于 $17.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风,最早于 30 日 22 时在河池环江出现,随着飊线移动,大风相继产生,最晚于 31 日 08 时在梧州出现,之后飊线移出广西,广西大风天气结束,期间最大阵风出现在 31 日 04 时 14 分,为贺州昭平的 $32.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。过程期间伴随出现了 14 个站雷暴以及强降水,其中大于 100mm 的有 1 个乡镇,50–100mm 的有 115 个乡镇,25–50mm 的有 448 个乡镇,最大累计雨量为柳州鹿寨中渡乡 100.9mm,最大小时雨量为 30 日 22 时环江 86.5mm。

2 大尺度背景场分析

中尺度系统的发生发展是在一定的有利大尺度环流背景下产生并受其制约的^[14],以下分析该次过程的大尺度环流形势特征。

2.1 环流形势分析

2014 年 3 月 30 日 20 时,500hPa 河套地区有一个低压槽正在东移,引导地面冷空气南下(图 1)。低纬在云南东部又有一个中尺度浅槽正在东移,且有温度槽配合,槽区有大片的负变温区,随着槽东移,负变温区移进广西,至 31 日 08 时广西大部出现负变温,最大 24h 负变温达 -2°C 。槽前有一支急流穿过广西,最大风速达 $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,使中低层垂直风切变显著加大;850hPa 随着低压中心东移南压,在滇黔桂交界出现一个闭合低压中心,中心气压为广西西部的百色站的 142gpm,风场上表现为从低压中心向东伸出一条切变线,切变线南侧为西南急流,最大风速达 $18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,其将孟湾的水汽源源不断向广西输送,并强烈辐合上升,温度露点差显示,广西北部、东部为 1°C ,水汽非常充沛,水汽通量散度场显示广西全区为水汽通量辐合区,温度平流场显示暖平流进一步加强,其中心值达到 $2.2\times 10^{-4}\text{K}\cdot\text{s}^{-1}$,广西受强暖平流影响。温度场显示随着冷空气南下,在四川南部到广西东部有一条西北东南向的等温线密集带即锋区,锋区强的斜压性有利于上升运动的发展;边界层 925hPa 西南急流强度维持,西南风与东南风的暖式切变线南压到桂中;地面西南暖低压进一步发展控制广西西部地区,其外围等压线向东北方向伸展形成一个倒槽,倒槽内的广西北部形成一条静止锋,随着冷空气的南推,静止锋变成冷锋南压,在风场上表现为辐合线南压;高层 200hPa 广西上空高空急流强

度加大,风速核达 $38\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 且其上有槽配合,此种形势高空抽取作用更为明显,更为有利于上升运动的发展^[14]。

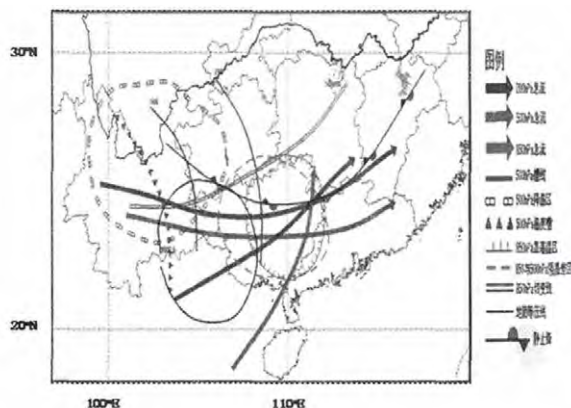


图 1 2014 年 3 月 30 日 20 时环境背景场综合分析

2.2 垂直不稳定结构

位势和层结不稳定是强对流活动最重要的基本条件^[15], θ_{se} 垂直分布显示本次过程层结维持着“上干冷,下温暖”的强不稳定状态,非常有利于强对流天气的发生。从沿广西东部(110°E)假相当位温及风场的经向剖面图可以看出(图 2),本次过程广西东部自低层有高温、高湿区向上伸展至 800hPa 附近, θ_{se} 大值中心高达 356K,大气表现为高温、高湿特性,风场上表现为强劲的偏南风,表明暖湿平流强盛且深厚;同时高层有明显的干冷空气侵入,低值中心位于 700–600hPa 之间, θ_{se} 低值中心低达 322K,且低值区向低层延伸至 800hPa 附近,同时 600hPa 以上为显著西北风,表明中高层干冷平流显著,说明此次过程是在低层暖湿平流及中高层干冷平流同时加强的共同作用下,层结表现为极不稳定。

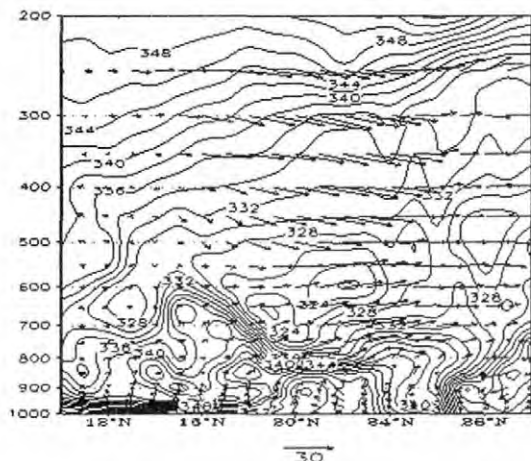


图 2 2014 年 3 月 30 日 20 时 θ_{se} (单位:K)和风场(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)经向垂直剖面

2.3 垂直风切变

风暴的强弱还与环境水平风场的垂直切变大小密切相关,在给定的湿度、不稳定性及抬升的深厚对流中,垂直风切变对对流风暴组织和特征的影响最大^[16]。从0–6KM垂直风切变分析,本次过程前(图3),500hPa急流强盛,最强达到 $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,且急流核位于广西上空,导致广西东部垂直风切变明显加大,大部处于 $4\times 10^{-3}\text{s}^{-1}$ 高值区内,其中广西东南部处于 $5\times 10^{-3}\text{s}^{-1}$ 高值区。0–3km垂直风切变也表现出类似特征,过程期间急流稳定维持且风速核也位于广西上空,广西东部垂直风切变为 $4\times 10^{-3}\text{s}^{-1}$,其中东南部为 $5\times 10^{-3}\text{s}^{-1}$ 。

以上分析表明本次过程强对流天气区位于中、低层均为垂直风切变大值区与急流核叠置区域;可见强垂直风切变与急流核叠置区域,特别是高、低层均为强垂直风切变与急流核叠置非常有利于有组织强风暴的形成和维持,这与姚晨等^[7]的研究结论一致。

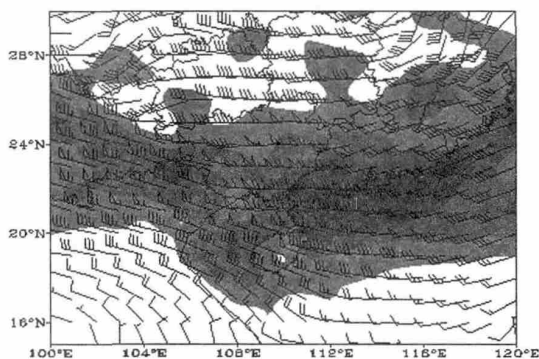


图3 2014年3月30日20时0–6km垂直风切变(填色,单位: 10^{-3}s^{-1})与500hPa风场(风羽,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)叠加

3 局地层结特征分析

3.1 温、湿廓线特征

不同强对流天气有其特色的层结结构^[18],从过程发生之前,作为对流风暴加强源地的广西北部的河池站探空廓线形态可以看出,本次过程温湿结构表现为低层湿层明显,湿层之上比湿小,干层清晰的特征。30日20时(图4),比湿超过 $12\text{g}/\text{kg}$ 的高度伸展至800hPa,由于干冷空气的侵入,800hPa–600hPa为比湿在 $3\text{--}6\text{g}/\text{kg}$ 之间、温度露点差大于 8°C 的干层,中层600hPa–550hPa为温度露点差小于 4°C 的浅云层,其上为显著干层,表现为典型的湿下击暴流特征。

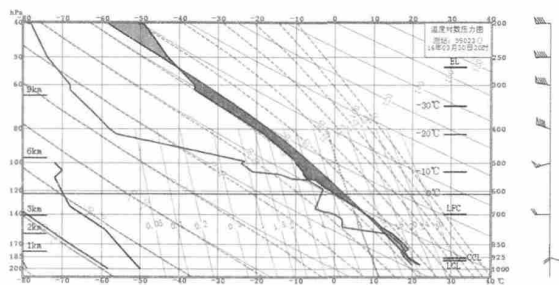


图4 2014年3月30日20时河池站实况温度对数压力图

3.2 物理参数特征

大气物理量可以定量描述大气中某些特征^[17],因此对其分析可以对大气特性有更为清晰的认识。选取河池站,分别从动力(0–6km垂直风切变)、热力(CAPE、CIN)、稳定度(K指数、SI指数、T850–T500)、动力与热力综合类(强天气威胁指数SWEAT、瑞士第一雷暴指数)等不同物理参数分析大气层结特征及雷暴发生可能性(表1)。对流有效位能(CAPE)是表征风暴潜在强度的一个重要指标,其值越大,能量释放后形成上升气流强度就越强^[19],从表1可以看出,CAPE值为 $843\text{J}\cdot\text{Kg}^{-1}$,具备对流发展条件。对流抑制有效位能(CIN)体现了阻止对流发生的能量的大小,其为 $109.7\text{J}\cdot\text{Kg}^{-1}$,表明风暴受到一定的负浮力,从过程的回波顶高也可以看出,整个过程期产回波顶高较低,这可能是本次过程发生雷暴站点数较少的原因。稳定度条件上,k指数 37°C ,850hPa与500hPa的温度差为 28°C ,Si指数很小,分别为 -6.31 ,表明中尺度环境场处于强的不稳定状态^[20,21],具有对流发展的良好潜势。风暴的发展强弱还与垂直风切变有密切关系,一般而言,在一定的热力不稳定条件下,垂直风切变的增强将导致风暴进一步加强和发展^[16],30日20时中低层(1000hPa–500hPa)的垂直风切变均为 $17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,属于中等到强的量级,有利于相对风暴气流的发展,气场将携带着降水远离风暴的入流区或上升区,有利于风暴的持续发展^[16],从风向垂直分布上看其有一个明显的随高度顺转的特征,顺转角度均超过 90° ,有利于强风暴的产生^[22]。强天气威胁指数(SWEAT)是20世纪70年代从美国引进综合考虑动力和热力条件的一个指标,它反映了不稳定能量与风速垂直切变及风向垂直切变对风暴强度的综合作用,其值越高,发生强雷暴的可能性越大,研究表明其与强天气有良好对应,其发生强风暴天气的临界值为 300 ^[16]。从河池

站来看,30 日 20 时 SWEAT 均超出临界值达到了 394,接近了美国发生龙卷的 400 临界值^[16],表明具有很强的强风暴发生潜势。瑞士风暴指数(SWISS00)也是一个反映风暴发生可能性的指标,其成功的将动力和对流能量参数结合起来^[22],庞古乾

等^[23]统计分析珠三角地区多个强对流天气过程表明,SWISS00 指数<2 时较容易出现强对流,30 日 20 时 SWISS00 指数非常小,为-4,指示强对流发生可能性非常大。

4 雷达回波特征分析

表 1 2014 年 3 月 30 日 20 时河池站不同物理量特征

	CAPE (J/Kg)	CIN (J/Kg)	K 指 数	Si 指 数	T850-T500 (℃)	0-6km 切变 (m.s ⁻¹)	LFC (m)	SWEAT	SWISS ₀₀
30 日 20 时	843	109.7	37	-6.31	28	17	3084	394	-4

从雷达回波特征上看,本次过程由高度组织的飊线发展成弓形回波造成的地面直线型大风,其由从贵州南部发展起来的强单体从桂西北进入广西,逐渐发展成飊线,并进一步加强为弓形回波,自西北-东南向扫过广西东部,期间经历约 6 个小时。广西柳州雷达清晰的监测到了本次飊线生成发展的过程。30 日 23 时左右在贵州南部开始有多个较强的回波单体生成,31 日 00 时左右从河池进入广西,强度加强,最强中心超过 55dbz,并分别合并形成东西两条尺度较小的带状回波,同时向东偏南移动,西段超前于东段,东段回波带上的强回波单体迅速发展合并,大于 55dbz 回波区域扩大,期间风暴造成河池五圩镇 20.6m.s⁻¹ 大风;两条回波带持续东偏南移动过程中,强度均有所加强,相较而言西段发展较快,长度变长,01:17 以后发现其前方有明显的出流边界(即阵风锋),且持续保持与其回波主体的距离,至 01:41 两条回波带连接成一条组织性更好,尺度更大的线风暴,即飊线,01:47 飊线造成河池宜州两个乡镇超过 18m.s⁻¹ 的大风,其后飊线继续向东偏南移动,在其上识别出多个中气旋(图 5a,见彩页),表明由多个超级单体构成,单体中心强度普遍超过 50dbz,02 时以后飊线进入市区,其中间向前凸出,两端向后弯曲,弓形回波特征明显(图 5b,见彩页),从径向速度图可以看出其后侧有大范围的强入流(图 5d,见彩页),速度超过 20m.s⁻¹,从径向速度剖面图可以看出,倾斜的上升和下沉气流以及中层径向辐合(MARC)(图 5e,见彩页),从时间连续演变来看,同样观测到强反射率因子及风速核心下降接地、液态水含量急剧下降的地面大风典型特征^[16],反射率因子剖面图显示(图 5c,见彩页),其大于 50dbz

回波最高只伸展至 8km,此弓形回波在 02-04 时扫过柳州、桂林南部、来宾、贵港共造成 17 站次超过 17m.s⁻¹ 的大风,其中于 03:25 造成金秀 31.1m.s⁻¹ 的大风,仔细分析其出现时间及回波特征发现,大风集中发生于弓形回波向前凸出区域,最强风发生于弓形回波的断裂处;04 时以后弓形回波的东段逐渐减弱,其在明显减弱之前有一个与之前在其前方局地生成且移动缓慢的回波单体有一个合并加强的过程,这一过程造成 04:14 贺州昭平 32.6m.s⁻¹ 大风,是本次过程录得的最强大风。此后弓形回波“弓”逐渐消失,变成线状的飊线回波,强度有所减弱,进入梧州时,此飊线回波强度又有所增强,中心强度超过 60dbz,04:32-05:35 期间此飊线造成梧州境内共 10 个乡镇超过 17m.s⁻¹ 的大风,最强为 23.4m.s⁻¹,之后飊线移出广西,对广西影响结束。

5 地面中尺度风场分析

Wilson 等^[24]指出,79%的风暴(96%的强风暴)发生在辐合线附近。Doswell^[25]研究认为天气尺度的上升运动不足以触发雷暴,雷暴一般由低层中天气尺度系统触发,如锋面、干线、边界层辐合线等。因此,在一定的大尺度环流背景下,分析近地面层流场有助于预报强对流天气发生发展。从逐小时自动站观测资料分析可以发现,本次过程前(30 日 20 时,图 6),位于地面倒槽内的贵州南部到广西东北部有一条西北-东南向的静止锋,地面风场上表现为一条地面辐合线,随着冷空气南下,静止锋面变为冷锋开始移动南下,对应的地面辐合线开始移动南下,但移动速度非常缓慢,尤其是位于柳州附近的中段辐合线几乎呈静止状态,从 30 日 20 时-31 日 03 时在

柳州境内维持,直到 04 时整条辐合线移到广西南部。对流回波即在贵州南部生成之后沿着地面辐合线移动,进入广西,强度加强,在河池附近组织形成飢线,在柳州一带加强为弓形回波,之后东南移动,“弓形”消失,演变为飢线形式。

以上分析可见,地面辐合线对对流风暴的触发及组织性起重要作用,较大尺度地面辐合线长时间维持有利于风暴强度和组织性的增强。

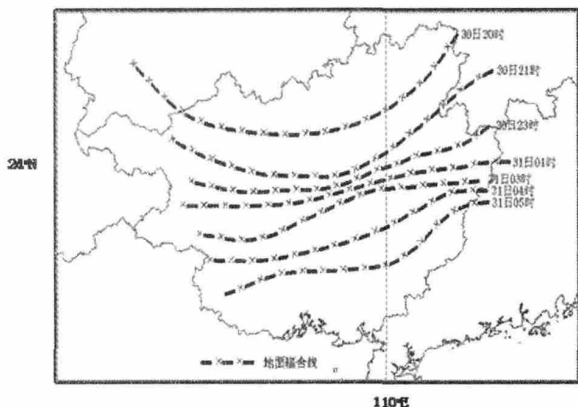


图 6 过程地面辐合线演变图

6 结论与讨论

本文从环境背景场、层结条件、物理量参数、雷达回波及地面风场特征等方面分析了广西 2014 年 3 月 31 日飢线大风天气过程,得到如下主要结论:

(1)本次过程为高空短波槽东移、低层冷式切变线及地面锋面共同影响,期间 850hPa 低空西南急流和 925 超低空急流已经建立有利于水汽及不稳定能量源源不断向广西输送是其显著特征。过程期间 500hPa 高空急流稳定维持,保证了环境风垂直切变条件。200hPa 急流有槽配合,高空“抽吸”作用极为显著。此外,低层有显著湿区,水汽充沛。

(2)垂直不稳定层结是强对流发生的必要条件, θ_{se} 垂直分布显示,本次过程发生于“上干冷,下暖湿”的强不稳定层结中;过程期间有高空冷空气侵入作用,同时低层急流建立导致的暖湿平流进一步加强,高层干冷平流加上低层暖湿平流加强的共同作用下使层结不稳定性加强。

(3)环境风垂直切变是影响对流组织性的重要因素,本次过程均发生在强的中、低层垂直风切变环境下,进一步分析表明强垂直风切变与急流核叠置区域,特别是高、低层均为强垂直风切变与急流核叠

置非常有利于有组织性强风暴的形成和维持。

(4)局地层结特征分析显示,本次过程温湿廓线均表现为低层湿层明显,湿层之上干层清晰的“上干、下湿”特征,干空气侵入到较低层次,有利于雷雨大风的发生。物理量配置表明本次过程大气处于强不稳定状态,0–6km 为中等到强量级的垂直风切变,具有强风暴发生潜势。有一定 CAPE 值和 CIN 值,较好的反映了本次过程对流发展厚度较低、雷暴站数较少的特征;SWEAT 及 SWISS00 对本次过程发生的可能性有良好指示作用。

(5)风暴雷达回波特征显示,本次过程由组织性强的飢线(弓形回波)造成。期间极端地面强风由风暴合并造成。回波结构显示过程期间有后侧强入流、V 型缺口、中层径向辐合和反射率核心区、强风速中心及液态水含量持续下降的大风典型特征。

(6)地面风场特征显示,本次过程地面辐合线尺度较大,移动缓慢,对流风暴在地面辐合线附近生成并沿着辐合线移动发展,分析表明尺度较大的辐合线长时间维持是风暴强度和组织性增强的重要原因。

参考文献:

- [1] Fujita T T. 1981. Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales. *J Atmos Sci*, 38 (8): 1511–1534.
- [2] Markowski P, Richardson Y. *Mesoscale Meteorology in Midlatitudes*. Chichester, west Sussex, UK: Wiley – Blackwell Publication, 27–31.
- [3] Convectively driven high wind events//Doswell C A. *Meteor Monogr*, Amer Meteor Soc, Boston. 50: 255–299.
- [4] 丁一汇, 李鸿洲, 章名立, 等. 我国飢线发生条件的研究 [J]. *大气科学*, 1982, 6 (1): 8–27.
- [5] 蓝春灵, 韦春霞. 春季一次强对流天气过程分析 [J]. *气象研究与应用*, 2009, 28 (S): 85–86.
- [6] 李洪海. 一次强对流天气过程分析 [J]. *气象研究与应用*, 2010, 31 (S): 20–31.
- [7] 姚晨, 郑媛媛, 张雪晨. 长生命史飢线在强、弱对流降水过程中的异同点分析 [J]. *高原气象*, 2012, 31 (5): 1366–1375.
- [8] 陈业国, 唐文. 2007 年 4 月广西一次强飢线过程的雷达回波分析及数值模拟 [J]. *气象研究与应用*, 2007, 28 (S): 132–134.
- [9] 梁建宇, 孙建华. 2009 年 6 月一次飢线过程灾害性大风的形成机制 [J]. *大气科学*, 2012, 36 (2): 316–336.
- [10] 卢建壮. 梧州副高边缘午后局地性短时雷暴大风潜势

- 预报初步 [J]. 气象研究与应用, 2008, 29 (1): 13-15.
- [11] 钟利华, 曾小团, 胡宗煌. 桂林雷暴大风临近预报研究 [J]. 气象学报, 2009, 30 (S2): 79-80.
- [12] 林中庆, 曹亚平, 赵小伟. 风廓线雷达资料在一次强对流天气过程中的应用 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32 (3): 19-22.
- [13] 乔琪, 汤俊. 春季两次强对流天气过程多普勒雷达回波中尺度特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32 (3): 42-45.
- [14] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法 (第 3 版) [M]. 北京: 气象出版社, 2000: 60-460.
- [15] 寿绍文, 励申申, 姚秀萍. 中尺度气象学 [M]. 北京: 气象出版社, 2003: 352-353.
- [16] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊廷南, 等. 多普勒天气雷达原理与业务应用 [M]. 北京: 气象出版社, 2006: 90-180.
- [17] 樊李苗, 俞小鼎. 中国短时强对流天气的若干环境参数特征分析 [J]. 高原气象, 2013, 32 (1): 156-165.
- [18] Donald W M. Windes—a new index for forecasting microburst potential. Wea Forecasting, 1994, 9 (4): 532-541.
- [19] 孙继松, 赵秀英, 李晓艳, 等. 与 CAPE 计算有关的几个问题//国外强对流天气的应用研究 (M). 北京: 气象出版社, 2012.
- [20] 叶爱芬, 肖伟军. 最不稳定层的确定及应用 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (1): 29-31.
- [21] 许爱华, 詹丰兴, 刘晓晖, 等. 强垂直温度梯度条件下强对流天气分析与潜势预报 [J]. 气象科技, 2006, 34 (4): 376-380.
- [22] Hunterieser H, Schiesser H H, schmid W A. Comparison of traditional and newly developed thunderstorm indices for Switzerland. Wea Forecasting [J], 1997, 12: 108-125.
- [23] 庞古乾, 伍志方, 叶爱芬, 等. 珠三角地区前后汛期强对流过程物理量指数对比分析及阈值选取 [J]. 热带气象学报, 2012, 28 (6): 919-923.
- [24] Wilson J W, Schreiber W E. Initiation of convective storms at radar observed boundary layer convergence lines [J]. Mon Wea Rev, 1986, 114 (12): 2 516-2 536.
- [25] Doswell C A. The distinction between large-scale and mesoscale contribution to severe convection: A case study example [J]. Wea forecasting, 1987, 2 (1): 3-16.
-

(上接第 13 页)

5%以下了,其余月份均没有大雨出现。

暴雨级别的降水概率,全年仅 5、6、7、10 月有暴雨出现,除 10 月份有 14.3%外,5、6、7 三个月均在 0.7~2.0%之间。

3 结论

以降水概率 50.0%或以上作为多雨型标准,30.0%以下作为少雨型标准,30.0~49.9%作为混合型标准,则:

WF、WQ、EF、EQ、ST1、ST2 属于多雨型天气系统;WS、G1、G2 为少雨型天气系统;ES、YT、SWT 为混合型天气系统。

参考文献:

- [1] 符晓虹. 热带气旋与文昌降水 [J]. 广西气象, 2005, 26 (3).
- [2] 李春鸾, 陈丽英, 郑亚娜. 海南岛暴雨统计分析 [J]. 气象研究与应用, 2008, 29 (S2): 56-58
- [3] 陈元昭, 林良勋, 陈训来, 等. 最近 5 年深圳大暴雨降

水特征及主要影响系统 [J]. 广东气象, 2014, 36 (1): 20-24

- [4] 吴胜安, 郭冬艳, 杨金虎. 海南热带气旋降水的气候特征 [J]. 气象科学, 2007, 27 (03): 307-311
- [5] 林墨, 林宗桂, 罗红磊. 一次中低纬度天气系统相互作用产生暴雨过程分析 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (3): 6-8.
- [6] 李菁, 黄治逢, 高安宁. 广西重大锋面暴雨天气过程的特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2008, 29 (1): 1-4
- [7] 罗红磊, 陈海山, 林宗桂, 等. 一条弱静止锋上对流系统发生过程的中尺度特征 [J]. 热带气象学报, 2013, 29 (1): 106-114
- [8] 曾小团, 农孟松, 赵金彪. 广西几次不同类型天气系统造成暴雨过程的物理量分析 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (4): 1-4
- [9] 周惠文, 黄归兰, 王庆国, 李广海. 南宁市热带气旋暴雨的统计特征分析 [J]. 广西气象, 2006 (S1): 49-50
- [10] 阳擎, 陈翠敏, 林开平. 南宁市暴雨时空分布特征 [J]. 气象研究与应用, 2008, 29 (1): 34-37

陈伟斌等：一次飊线大风天气过程成因分析

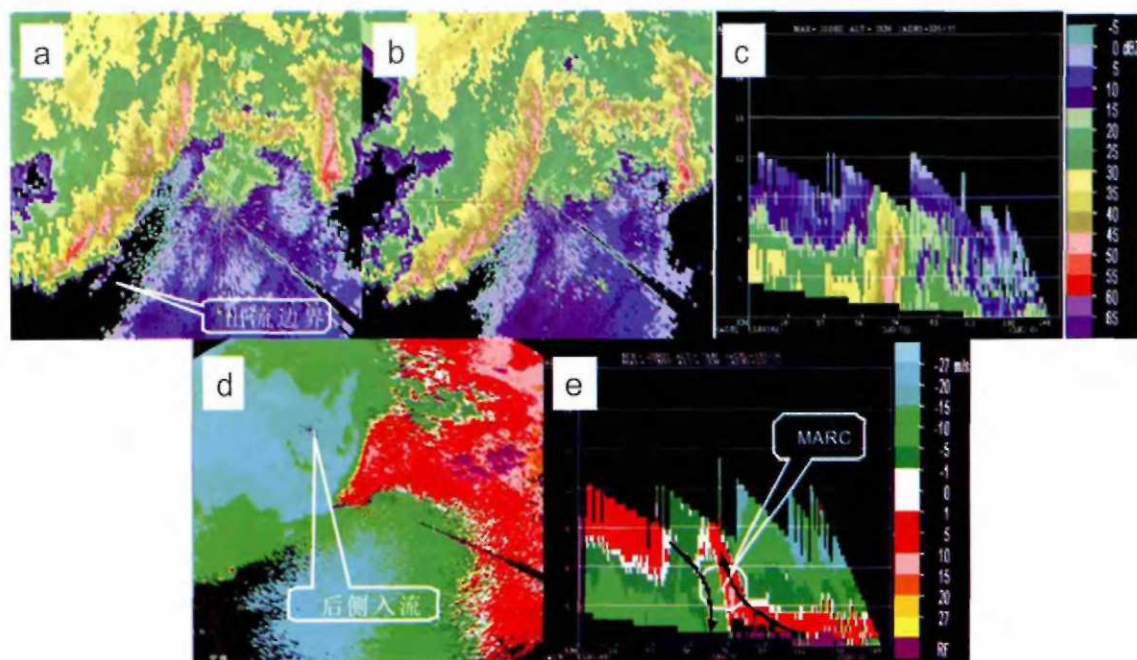


图5 31日01时53分(a)和02时17分(b、c、d、e)雷达回波特征图
a、b:1.5仰角基本反射率,黄色圆圈为雷达识别的中气旋;c:基本反射率剖面;d:1.5仰角径向速度;e:径向速度剖面

钟利华等：基于GIS的广西电网流域面雨量计算方法与监测预警



图3 汇水流域与气象站点空间叠加分析图

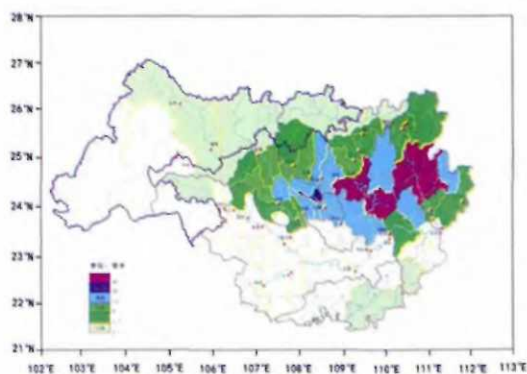


图4 西江流域5月11日03时至06时3小时累计面雨量实况图

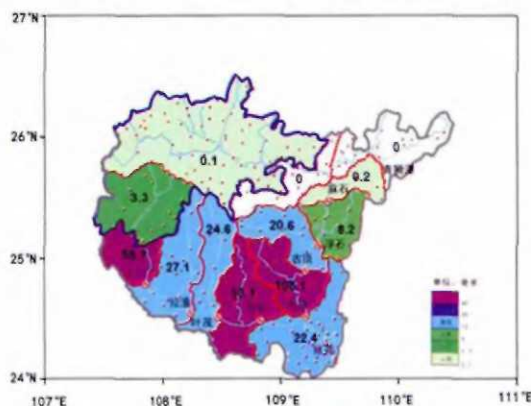


图5 柳江流域5月10日24时至11日03时3小时累计面雨量实况图