

# 湖北一次飚线天气过程对流发展机制分析

尹恒<sup>1</sup> 沈定成<sup>1</sup> 夏金<sup>1,2</sup> 李易<sup>1</sup> 杨占婷<sup>1,3</sup> 廖小华<sup>1</sup>

(1 湖北省十堰市气象局, 十堰 442000; 2 湖北省气象局, 武汉 430074; 3 湖北省气象服务中心, 武汉 430074)

**摘要:** 利用常规气象观测、区域加密自动站、FY-2E卫星、多普勒天气雷达及组网产品等资料, 对2011年7月下旬发生在湖北省的一次大范围雷雨大风天气过程进行分析, 探讨了强对流天气产生的天气学条件和物理机制。结果表明: 雷雨大风是高空槽、切变线、低空急流与河套南下冷空气相互作用的结果, 西太平洋副热带高压西侧的偏南气流为雷雨大风提供了水汽和能量输送, 卫星和雷达监测反映出中尺度对流体生消发展中有多个较小尺度对流体新生和发展, 雷雨大风出现在中尺度云团前端及强回波地区。

**关键词:** 雷雨大风, 天气学条件, 稳定度

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2014.01.007

## Analysis on Ambient Condition and Initialization Mechanism of Convection in a Severe Squall Line Storm Event in Hubei

Yin Heng<sup>1</sup>, Shen Dingcheng<sup>1</sup>, Xia Jin<sup>1,2</sup>, Li Yi<sup>1</sup>, Yang Zhanting<sup>1,3</sup>, Liao Xiaohua<sup>1</sup>

(1 Shiyan Meteorological Bureau of Hubei Province, Shiyan 442000 2 Hubei Meteorological Service, Wuhan 430074

3 Hubei Provincial Meteorological Service Center, Wuhan 430074)

**Abstract:** By using the conventional meteorological observation, regional automatic station, FY-2E satellites, Doppler radar and networking products such as data, the thunderstorm weather process which occurred in Hubei Province on a large scale is analyzed, and the causes of convective weather conditions and physical mechanism are discussed. The results show that the thunderstorm gale is due to the upper trough, shear line, low-level jet and the cold air southward interaction results. The southerly airflow on the west side of West Pacific subtropical high provided the water vapor and energy transport for thunderstorm gale. Satellite and radar monitoring reflects a plurality of a small scale on the generation. The development of mesoscale convective fluid body dissipation development, in effect, is a thunderstorm. The thunderstorm appears in the mesoscale-cloud-cluster front end and the strong echo area, strong weather of deep convective index and convective inhibition energy high value area, located in the upstream of strong convective weather which occurred.

**Keywords:** thunderstorms, weather conditions, stability

### 1 引言

2011年7月26日湖北省出现了一次大范围雷雨大风强对流天气, 强度之强、范围之大为近年少有, 而湖北省西北门户十堰市更是10年没有遇过。雷雨大风天气使得供电通信、襄渝铁路等一度中断。本文利用常规气象观测、区域加密自动站观测、卫星等资料, 以及短时临近预报系统(SWAN)和雷达组网产品等信息, 结合局地天气气候特点, 探讨了雷雨大风天气发生的天气学条件和机理, 为强对流天气预报预警提供参考。

### 2 天气实况与灾害

受副高外围偏南气流及四川盆地东部对流云团东移影响, 2011年7月26日中午到夜间, 湖北省大部

分地区出现雷雨大风强对流天气(图1), 7月26日08时—27日08时(北京时, 下同)国家气象站中19县市出现暴雨, 主要分布在江汉平原、鄂东北、鄂西南地区。日降水量最大的测站为应城, 为87.0mm; 最大小时降水量出现在潜江, 为43.9mm。乡镇加密自动站显示有241个乡镇降暴雨、24个乡镇达到大暴雨, 其中日最大降水量出现在潜江总口农场, 为187.2mm, 小时最大降水量出现在宜昌夷陵区秀水, 为80.2mm。10分钟平均风速的最大值出现在26日午后及27日凌晨前后, 有24个站达到 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上, 郧县、老河口、秭归、谷城、兴山和金沙6站在 $15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上, 其中最大值出现在鄂东南的金沙, 为 $19.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 瞬时风速的最大值有14站在 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上, 其中金沙、秭归、巴东、老河口、咸宁、兴山、谷城、郧县8站在 $25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上, 最大值出现在鄂西北的郧县, 为 $32.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。据统计, 此

收稿日期: 2013年9月30日; 修回日期: 2014年1月10日  
第一作者: 尹恒(1963—), Email: cnyinh@163.com

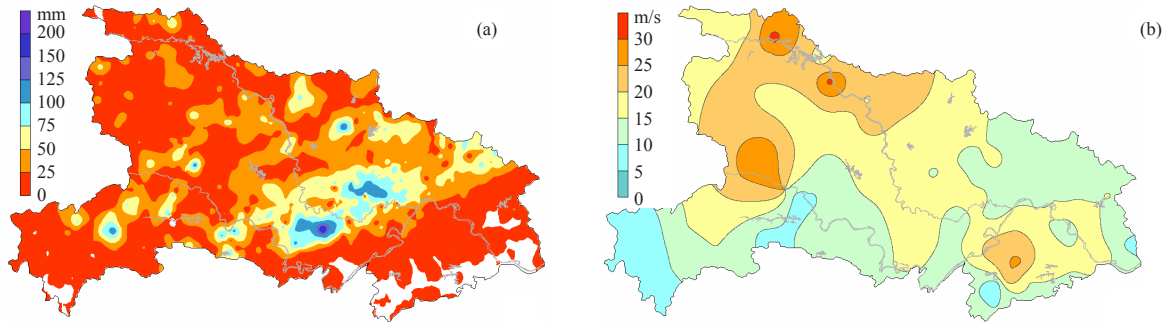


图1 2011年7月26日08时—27日08时湖北省降水量 (a, 单位: mm) 与极大风速分布 (b, 单位:  $m \cdot s^{-1}$ )

次雷雨大风灾害造成9县(区) 58.1万人受灾, 其中郧县14人受伤, 农作物受灾20.9千公顷, 倒塌房屋99户260间, 损坏房屋3345间, 直接经济损失9703万元。

### 3 天气尺度环流系统

#### 3.1 环流形势

2011年7月, 北半球极涡呈多极型分布, 有三个中心, 分别位于中西伯利亚以北、阿拉斯加地区和加拿大东北部<sup>[1]</sup>。在距平图上鄂霍次克海阻塞高压, 为正距平, 500hPa距平值达+80gpm, 有利于中西伯利亚北部极涡中的冷空气沿极涡左侧高压脊前的偏北气流南下, 冷空气经贝加尔湖西侧由河套南侵到汉水上游, 它是造成鄂西北乃至全省出现强对流天气的主要环流因素。7月下旬亚欧地区环流形势出现调整, 远东地区的阻塞高压依然维持但略有东移, 其上游的高空槽进一步东移, 同时其底部不断分裂弱的短波槽东移南压, 青藏高原上空也不断有高空槽东移, 7月26日两者在我国中北部地区叠加, 副高的西伸加强有利于其西侧暖湿气流向湖北西北部输送(图2)。

#### 3.2 系统演变

7月24—25日我国华北大部分地区出现强降水,

强降水是由高空槽后不断东移南压的冷空气与副高西侧偏南气流交汇所造成的。从24日08时500hPa形势和850hPa风场(图略)中可以看到, 蒙古国以北存在一个宽广的低涡系统, 冷空气沿涡后偏北气流南下, 使得河套地区500hPa低槽向南加深。此时副高西脊线伸至华南西部, 西风带高压与副高打通, 同时850hPa存在一条明显的西南急流带, 强度达 $12m \cdot s^{-1}$ 。冷暖空气在河套地区交汇, 华北出现强降雨天气。24日20时蒙古国北部的低涡系统东移缓慢, 依然有冷空气由低涡南部向东南方向输送, 由于远东地区南部的阻塞高压强盛, 河套地区高空槽缓慢东移至华北西部, 槽前高压脊与副高叠加加强, 四川盆地低涡开始生成并发展, 850hPa西南急流呈加强趋势, 最大风速达 $16m \cdot s^{-1}$ 。25日08时新疆北部浅槽的主体位于蒙古国以西, 华北低槽减弱。25日20时新疆北部的小槽进一步东移, 华北地区高空槽前高压脊开始崩溃, 26日08时陕西中部到川东北低槽形成(图2), 700hPa在陕南地区有一若东北—西南向切变存在, 在500hPa引导气流带动下向东南方向移动, 850hPa低涡发展, 川东北对流旺盛, 中尺度对流云团沿副高外围气流向东北方向移动, 从26日上午至夜间四川盆地东北部、湖北大部出现雷雨大风天气。

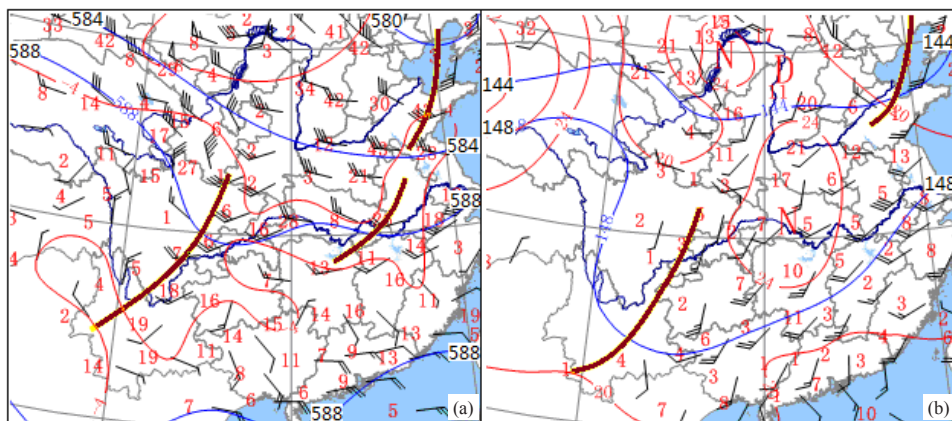


图2 2011年7月26日08时500hPa (a)、850hPa (b) 高度和风场

在地面图上, 24日08时我国东北地区到河套南部为地面冷锋前的低压带(图略), 南疆盆地到青藏高原东部为暖低压控制, 冷空气中心位于贝加尔湖南部, 锋面向中蒙边境移动。25日02时位于河套地区, 其后冷空气扩散南侵, 08时抵达黄河中游河南西北部, 这时地面图上已经没有闭合高压环流。26日08时冷空气该地区堆积形成1002.5hPa闭合环流, 冷锋已达秦岭, 此时湖北大部分地区正处于锋前的热低压控制之中, 当河套地区南下的冷空气与前期增暖的暖空气相遇时, 就形成了强烈的对流性雷雨大风天气。

## 4 中小尺度(环流)系统

### 4.1 近地层中小尺度风场

低层流场对雷雨大风的发生发展有重要的作用。从实况流场看, 26日08时925hPa四川盆地东部—鄂西北—河南西南部从南到北有一西南风和偏西风形成的辐合线, 对应在地面上这种辐合明显, 鄂西北以南地区为一反环流, 江汉平原为一气旋性环流, 鄂西北辐合线宽度较窄, 而江汉平原气旋性环流场的水平尺度较前者大2~3倍, 反映出强风区辐合带窄, 强降水区的辐合区水平尺度相对要宽一些(图3)。26日02时辐合线位于鄂西北西侧的陕南地区, 地面偏南气流最强盛并延伸至四川北部到陕西南部, 08时辐合线东移在湖北西部与陕西、重庆交界地带形成南北向辐合带, 11时辐合线西侧西北气流加强, 河南西北部冷空气主体南下, 辐合带东移, 这种南北流场形成的辐合线一直维持到20时, 雷雨大风发生在近地层中尺度辐合线上。

### 4.2 云图的中小尺度特征

7月24日08时地面冷锋从蒙古东部经由河套地区延伸至四川西北一带, 云图上冷锋云带清晰, 从孟加拉湾到四川盆地有对流云北移, 鄂西北地区为弱的中低云覆盖。26日08时从内蒙古中部经河套到四川盆地的主云带上有2个对流云团(MCC), 分别位于陕西南部 and 重庆中北部, 二者迅速靠近加强。11时锋面云带断裂, 随着冷锋的东移, 地面冷暖空气交绥于陕西南部、河南西南部—鄂西北地区, 陕南—四川盆地

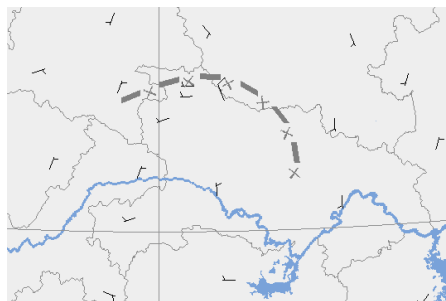


图3 2011年7月26日08时地面风场及辐合线

东部云团合并加强, 形成边界整齐的圆状云团(图4)。

由于副高南托作用, 锋面云带少动, 云带上不断有新单体生成, 这种对流单体的生成、发展、消亡一直维持到27日02时, 对流云团是26日下午到夜间造成湖北省雷雨大风天气的始作俑者, 其结构呈边界较整齐的椭圆状云团。从云图动画上看, 26日15时整个湖北西部被其笼罩, 17时当鄂西北对流减弱时, 对流云团覆盖了湖北省大部分地区, MCC在冷锋云带上不断从西南方生成发展并向东北移动, 形成“列车效应”, 是造成湖北多地短时间强对流天气持续发生的主要原因。一般认为云顶温度 $\leq -48^{\circ}\text{C}$ , 则表示云顶已抵达对流层上部, 对流发展非常旺盛, 伴随的强对流天气现象比较严重<sup>[2]</sup>, 而26日16时强中心达到 $-124^{\circ}\text{C}$ , 可见对流之强盛。

### 4.3 多普勒雷达分析

十堰天气雷达 $2.4^{\circ}$ 仰角的基本反射率图上显示, 7月26日10:25在重庆东北部出现两个回波体, 其与卫星云图相对应。10:37在神农架西南部、湖北郧西西北部和陕西南部有回波单体出现, 在向东北方向移动过程中发展迅速; 11:01重庆和陕南的回波单体发展合并为两个单体; 11:19两单体逐渐向湖北竹溪西部发展东移; 12:08形成带(线)状回波, 水平尺度约75km, 最大回波强度55dBz, 在向东北方向移动的过程中范围继续扩大。12:51(图5a)与神农架处的回波单体连接, 水平尺度加大到150km, 同时郧西西北部的单体在发展过程中分裂成三个单体向西南方向移动, 并与东移的带状回波趋于合并。13:03回波带50dBz长度达160km, 从这条回波带上可以清楚地看到多个对流单体(图5b)呈弓形分布, 形成明显的前侧宽广的入流槽口区和后侧下沉气流区, 并逐渐形成西北—东南向的飚线回波, 自西南向东北方向快速经过十堰地区, 其后部形成大片混合型降水回波(图5c)。

飚线上最大垂直累积液态含水量达 $60\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , 回波顶高达18km。15:48飚线已过十堰到达河南南部, 之后右转向东南方向移动, 在移动过程中仍保持旺盛的势头, 且继续在湖北中东部和南部地区造成强风暴雨等灾害。从径向速度图可以看到, 高层风速明显大于低层, 回波向东北移动过程中低层风速逐渐加大, 低层存在风速辐合, 还可以看到有明显的中层径向辐合存在(图5d), 弓形回波后部入流槽口急流区强盛, 为雷雨大风典型的径向速度特征<sup>[3]</sup>。

从雷达回波基本反射率拼图可以看出, 26日12时高空槽回波带位于河南西侧到陕西南部, 四川盆地对流体回波位于川渝交界地的北部, 回波强度达50dBz, 水平尺度超过50km(图6a)。这时湖北境内

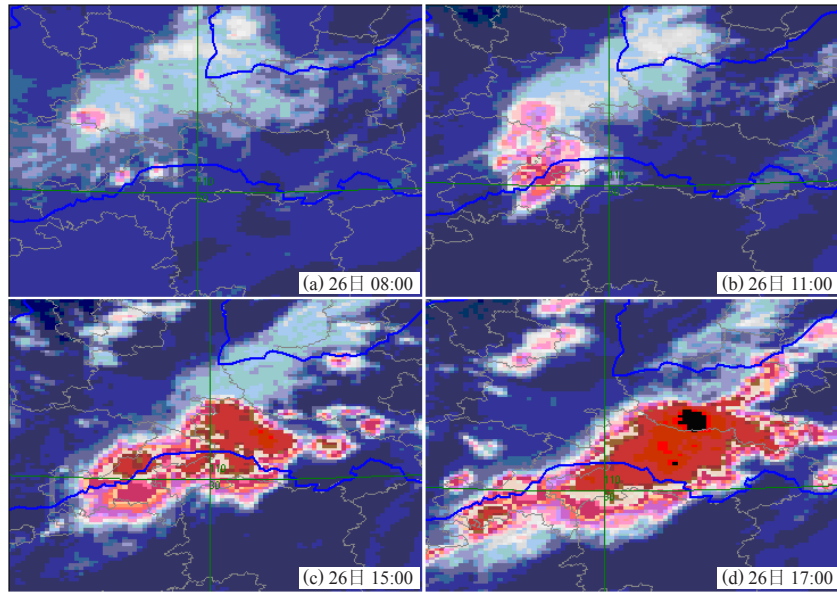


图4 2011年7月26日FY-2E红外云图

雷雨大风天气开始，14时开始雷雨大风区迅速向东扩展，襄阳及以东地区风力加大，从SWAN监测产品来看，影响范围随之扩大，与近地层冷空气快速扩散相一致。15时鄂西北为强对流所覆盖（图6b），18时强回波区位于河南南部到湖北中部地区，雷雨大风回波带的前沿回波强度明显高于中后部，有6个大小不等的强对流中心相伴（图6c），比较相同时刻卫星云图，红外云图上为一中尺度云团，云团前沿较雷达回波前沿要偏东50~80km，21时鄂北地区回波减弱，强中心断裂开来，江汉平原东部的两个强对流中心对应

了这次雷雨大风过程的强降雨中心（图6d）。

## 5 稳定度条件

深对流指数（DCI）指的是伸展高度具有或大于均质大气高度（约为7991m）的对流系统。李耀东等<sup>[4]</sup>指出深对流指数和对流有效位能可反映对流上升运动的潜势和强度，对流有效位能还隐含地反映了对流层大气总体垂直热力结构。利用26日08时高空资料进行计算：安康DCI=47.9℃，南阳DCI=39.2℃，恩施DCI=47.9℃，宜昌DCI=47.3℃，武汉DCI=47.4℃，均表征为指数的高值区，该数值超过了姚建群等<sup>[5]</sup>研究

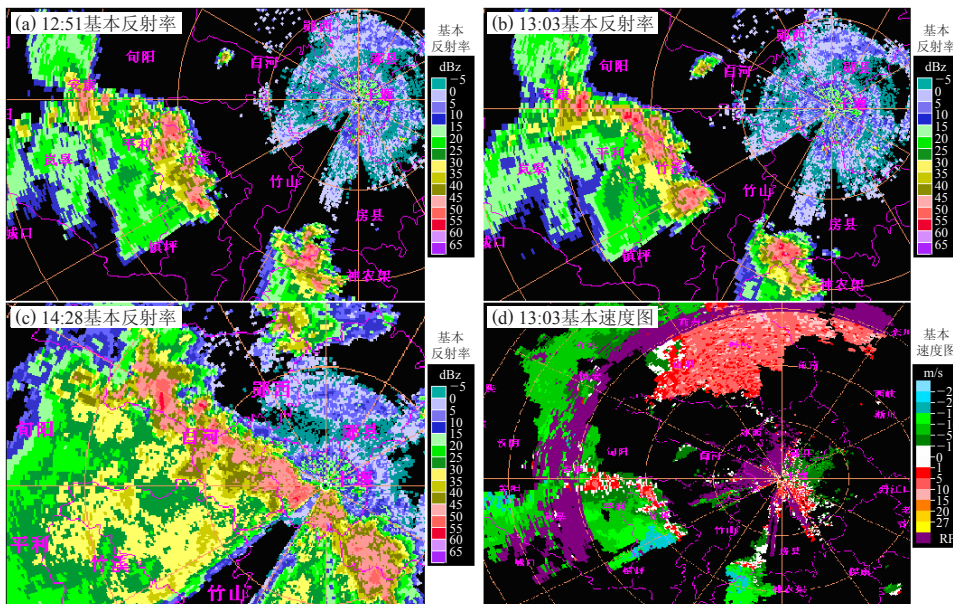


图5 2011年7月26日十堰多普勒雷达回波图

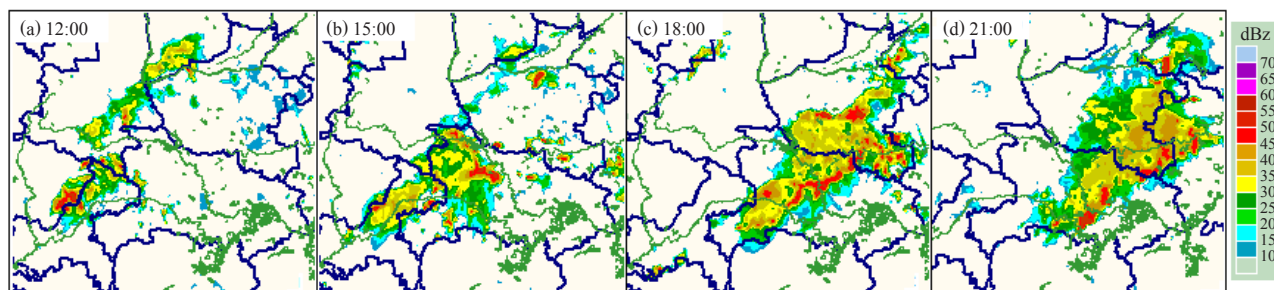


图6 2011年7月26日12—21时华中区域雷达基本反射率拼图

长三角地区一次强飚线的情形，深对流指数越大预示条件不稳定越强，提示存在发生强对流的潜在可能性越大。

这次雷雨大风天气出现在湖北中北部到河南南部，计算了安康、南阳两个测站的对流有效位能（CAPE）和对流抑制能量（CIN）。统计看到在雷雨大风发生之前CAPE有一个升高过程，主要表现为从25日08时—26日08时安康和南阳CAPE数值分别升高了 $1014.7\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $1003.1\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，能量升高聚集，表明强对流天气触发条件极为有利。26日随着雷雨大风天气的产生和不稳定能量的释放，CAPE急剧降低，安康从08时 $1105.5\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 下降到20时的 $378.6\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，南阳由 $1602.4\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 降到 $205.4\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，较好地揭示了雷雨大风发生前后能量变化机理（表1），地处湖北西部的恩施、宜昌两站CAPE和CIN的时间变化与前者一致，而位于湖北东部的武汉站变化要滞后一些，在26日20时CAPE达到 $5999.6\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，27日08时回落到 $835.5\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

对流天气可以探空资料上CIN的大小来评估雷雨大风发生的可能。当CIN随时间变小时应引起注意。安康和南阳7月25日08时的CIN比26日08时的CIN大，即CIN随时间变小（表1），因此，当有抬升力时，由于CIN变小气块易抬升，形成了强对流天气，即7月26日午后出现强雷雨及大风。

## 6 小结与讨论

通过对这次大范围雷雨大风的分析可以看出，500hPa引导气流和地面冷空气在短期预报中的提示作用，近地面风场辐合线（带）对于雷雨大风移动路径的短时预警有明确指示意义，同时也要关注其他相关

表1 雷雨大风区探空测站CAPE和CIN变化比较(单位:  $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

测站	CAPE / CIN			
	25日08时	26日08时	26日20时	27日08时
安康	90.8/464.3	1105.5/126.8	378.6/167.2	5.7/656.7
南阳	599.3/328.3	1602.4/258.1	205.4/1.3	144.9/261.9
恩施	792.2/71.6	1690.9/111.1	177.8/385.6	202.6/0.8
宜昌	825.0/281.7	2011.4/257.7	112.0/296.1	139.8/7.0
武汉	2593.7/148.6	1833.0/231.4	5999.6/43.2	835.5/0.0

因素时空分布及变化。

(1) 高空槽、低涡切变线、低空急流与经由河套南侵冷空气为雷雨大风提供了好的背景条件，西太平洋副高西侧的偏南气流为对流云团东移提供了水汽和能量，使盆地低压系统沿东北路径移动。

(2) 低层辐合、高层辐散造成的强烈上升运动为大量水汽持续输送、雷雨云的发展和维持提供了有利的环境条件，散度垂直分布促进了动力抬升，低空急流有利于地面锋生发展，对中小尺度系统的加速移动起关键作用，对飚线系统的发展和维持起到积极作用，使得天气过程维持较长的生命史。

(3) 卫星和雷达监测反映出中尺度对流体生消发展中有多个较小尺度对流体新生和发展，是雷雨大风的始作俑者，前沿雷达监测对流高度（18km）及液态含水量（ $60\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ）反映出雷雨大风对流强盛，云图与回波落区提示雷雨大风出现在中尺度云团前部的强回波区。

(4) 雷雨大风多普勒雷达回波对雷雨大风临近预报指示性强。多雷达拼图在MCS移动发展判定上较卫星云图更为直接明确，强回波区的移向移速是雷雨大风短时临近预报的关键依据。

(5) 不稳定层结是雷雨大风产生的重要条件，深对流指数（DCI）、对流有效位能（CAPE）和对流抑制能量（CIN）等物理量的分布显示雷雨大风区上游在强对流天气发生前存在着不稳定层结，CAPE明显增大及与CIN减少的过程在雷雨大风预报预警中有明显的提示作用。

## 参考文献

- [1] 于超. 2011年7月大气环流和天气分析. 气象, 2011, 37(10): 1314-1319.
- [2] 纪玲玲, 孔余寿, 谭永强, 等. 东南沿海地区中尺度雷暴云团卫星云图特征分析. 气象科学, 2005, 25(2): 158-164.
- [3] 崔讲学, 张家国, 王仁乔, 等. 武汉一次下击暴流天气的成因分析. 暴雨灾害, 2007, 26(4): 369-371.
- [4] 李耀东, 刘健文, 高守亭. 动力和能量参数在强对流天气预报中的应用研究. 气象学报, 2004, 62(4): 401-409.
- [5] 姚建群, 戴建华, 姚祖庆. 一次强飚线的成因及维持和加强机制分析. 应用气象学报, 2005, 16(6): 743-753.