

刘梦娟,杨引明,储海,2017. 一种新的梅雨锋上中尺度涡旋识别方法[J]. 气象,43(1):11-20.

一种新的梅雨锋上中尺度涡旋识别方法^{*}

刘梦娟 杨引明 储 海

上海中心气象台,上海 200030

提 要: 中尺度涡旋的发生、发展对梅雨锋暴雨常具有直接作用,客观准确地识别中尺度涡旋有助于提高暴雨预报的准确性。本研究提出一种从格点风场中自动识别中尺度涡旋中心的客观方法。利用美国国家环境预报中心(NCEP)提供的全球模式分析资料,选取 2013—2014 年梅雨期间两次暴雨个例,考察新方法识别中尺度涡旋的能力,并与现有的两种识别方法(分别基于相对涡度场与基于高度场)进行比较分析。结果表明,由于较小尺度的系统不遵守地转风规则,梅雨锋上许多涡旋的风场环流中心、涡度中心与低压中心位置不重合,影响通过涡度识别或气压识别方法的准确性。新方法从风场出发,可准确识别出大多数涡旋中心,误判率低,定位精度高于无人工辅助下的另外两种方法。接着利用新方法分析了两次暴雨个例中不同中尺度涡旋的垂直结构与时间演变。分析表明,新方法无需人工辅助,无特定层高和时间限制,可在短时间内识别出区域内所有中尺度涡旋的位置、三维结构与时间演变,可用于梅雨期间静止锋上中尺度涡旋的识别和路径的追踪,有助于预报员实时分析与预报暴雨。

关键词: 中尺度涡旋,梅雨锋,自动识别方法

中图分类号: P456,P458

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.01.002

A New Detection Algorithm of Mesoscale Vortex During Meiyu Period

LIU Mengjuan YANG Yinming CHU Hai

Shanghai Central Meteorological Observatory, Shanghai 200030

Abstract: The occurrence and development of mesoscale vortices directly influence heavy rainfalls during Meiyu period. Identifying mesoscale vortices accurately helps to improve the prediction of heavy precipitation. An objective method is proposed to automatically detect the centers of mesoscale vortices from gridded wind field in this study. Using global analysis from National Centers for Environmental Prediction (NCEP), USA, two cases during the 2013—2014 Meiyu periods were selected to compare the existing two algorithms which are based on vorticity or height distribution and the new one. The results indicate that since small-scale systems do not obey geostrophic wind relationship, the centers of wind, vortex and low pressure scarcely overlap Meiyu fronts, thus decreasing the accuracy of detection on the basis of vorticity or pressure. However, the new method is based on winds and can precisely identify most vortex centers with a higher precision than the other two algorithms. Then the new method is used to analyze the vertical structure and time evolution of different vortices in the two cases. The analysis shows that the new method does not need any manual intervention, specific level or time restriction. It can identify the position, 3-D structure and time evolution of any mesoscale vortex falling in the domain in a very short time. Also, it can be used to detect mesoscale vortices on stationary fronts during Meiyu periods, very helpful for forecasters to do real-time analysis and forecast severe precipitation.

* 国家自然科学基金项目(41475040)和中国气象局预报员专项(CMAYBY2016-023)共同资助

2016 年 7 月 17 日收稿; 2016 年 9 月 30 日收修定稿

第一作者:刘梦娟,主要从事边界层观测资料、数值模拟研究. Email:mengjuan.liu@gmail.com

通信作者:杨引明,主要从事大气探测遥感和中尺度气象研究工作. Email:ymyang@pku.org.cn

Key words: mesoscale vortex, Meiyu front, automatic detection algorithm

引 言

中尺度涡旋(扰动)的发生、发展是造成我国长江中下游地区梅雨锋上强降水的主要原因之一(陶诗言等, 1980; 孙淑清和杜长萱, 1996; 高守亭等, 2003; 翟国庆等, 2003; 赵思雄等, 2004; 孙建华等, 2004; 尹洁等, 2011; 周宏伟等, 2011; 张家国等, 2013; 郑婧等, 2014; 刘瑞翔等, 2016)。这些涡旋大多出现在 1000~700 hPa 的高度层间(谷文龙, 2008), 常由低层切变线或辐合线上扰动形成(孙淑清等, 1993; 王欢和倪允琪, 2006; 周玉淑等, 2010)。它与中尺度对流系统(mesoscale convective system, MCS)的发生、发展有密切的关系, 国内外学者指出, 一些中尺度涡旋形成于已经发生的中尺度对流系统或暴雨中, 而形成的中尺度涡旋反过来又会产生或加剧暴雨与中尺度对流系统, 并与一些极端天气, 对流风暴等相联系, 在其移动的过程中激发新的湿对流, 进而引发持续性强降水过程(Maddox, 1980; Menard and Fritsch, 1989; Bartels and Maddox, 1991; Branch et al., 2010; Fritsch et al., 1994; Trier et al., 2000; 董佩明和赵思雄, 2004; 陈永林等, 2016; 孔凡超等, 2016)。由此可见, 中尺度涡旋的尺度、形状、结构对于降水的预报具有指示意义。准确识别梅雨期间中尺度涡旋有助于提高暴雨预报的准确性。

出现在长江中下游的梅雨锋上的中尺度涡旋可分为两类, 一类是 α 中尺度西南涡系统, 另一类是梅雨锋上局地新生的 β 中尺度涡旋(胡伯威和潘鄂芬, 1996; 高坤和徐亚梅, 2001)。傅慎明等(2012)对比研究了东移西南涡和大别山附近局地新生的中涡旋, 发现两类涡旋均位于对流层低层, 西南涡是“由上而下”发展的, 而大别山涡则是“由下而上”发展的, 且大别山涡整个生命史内均伴有地面闭合低压中心。相较于从上游东移过来的西南涡, 局地新生的中尺度涡旋发生频次更多, 更容易引起突发性的中尺度暴雨(董佩明和赵思雄, 2004; 杨引明等, 2010)。程麟生和冯伍虎(2001)对 1998 年 7 月 20—23 日长江中下游地区梅雨锋上突发性大暴雨过程进行了数值模拟研究, 发现暴雨过程与 850~700 hPa 上水平尺度约为 100 km 的两个局地新生的 β 中尺度低涡有关, 而近地面层没有气旋式环流

存在。廖移山等(2006)利用 AREM 中尺度模式模拟了一次暴雨过程, 发现西南低空急流的发展变化导致了低层 β 中尺度低压和 β 中尺度气旋的新生; 地转偏差使得中尺度高压周围的风场发生明显变化, 并导致中尺度辐散中心强烈发展, 造成强烈的上升运动。

西南涡系统尺度较大, 通常在天气图上可被肉眼识别、分析与追踪, 且其与低压场相关性较好, 运用各种方法均可被识别。而局地新生的中尺度涡旋尺度较小, 位于较低层次, 大多数分布在 850 hPa 上, 厚度浅薄(王薇等, 2011), 较难在高空图上直接被识别, 增加了实时分析与预报的难度。Zhai et al (2007)指出在长江中下游地区梅雨锋上边界层内有时会有多个弱小中尺度涡旋形成, 形成涡旋簇, 并导致强降水。较小尺度的系统不遵守地转风规则, 涡度、高度与风场中心不配合; 互相黏连的中小涡旋簇也增加了识别的难度。

多年来许多学者用 Davis et al(2002)所使用的探测中尺度对流涡旋(mesoscale convective vortex, MCV)的方法来识别中尺度涡旋(James and Richard, 2010; 王薇等, 2011); 还有一些学者利用高度场(沈杭锋等, 2013)或雷达资料(杨引明等, 2010)。这些方法可以较准确地定位出尺度较大的 α 中尺度涡旋, 如西南涡等, 以及一些形状规则、风场分布均匀的 β 中尺度涡旋。然而, 当用于识别梅雨锋上局地新生的尺度较小、形状不规则的涡旋时, 存在一定局限性: 如需要人工辅助才能剔除切变线造成的涡度大值区, 使得识别效率降低; 在不同的气压层需要人为规定不同阈值, 难以连续分析垂直结构等; 难以识别不遵守地转风规则的涡旋等。

本研究在对现有两种中尺度涡旋识别方法进行简要介绍的基础上, 提出了一种新的中尺度涡旋客观识别方法——风场识别法。从地转适应的原理出发, 对于中小尺度系统, 气压场适应风场, 因此风场识别既能判断尺度较大的涡旋位置, 也可以识别出中小尺度涡旋。通过对两次不同类型的中尺度涡旋引发的暴雨个例进行检验, 考察三种方法的识别效果, 并用新方法分析了不同类型的中尺度涡旋的结构特征。

1 方 法

首先对现有研究中常用的中尺度涡旋识别方法

作简要介绍,以便后文对比分析。基于涡度场的方法源于 Davis et al(2002)中探测中尺度对流涡旋的方法,通过分析相对涡度的分布特征进行识别。基于高度场的方法出自沈杭锋等(2013)对长江下游梅汛期尺度涡旋特征分析,通过分析位势高度即气压场的分布特征进行判定。最后介绍基于风场判定的新方法。

1.1 现有识别方法简介

1.1.1 基于涡度场

Davis 方法首先用于对美国第二代快速更新循环系统(Rapid Update Cycle, version 2, RUC)的 3 h 分析场进行涡旋中心识别。首先将垂直共 40 层的分析场插值至每隔 25 hPa 一层的等压面上。随后取 500~600 hPa 间共 5 层等压面上的相对涡度值作垂直方向平均,得到平均涡度场后,计算逐个格点的涡度拉普拉斯 L_{ζ} :

$$L_{\zeta} = \frac{\zeta_{i,j+1} + \zeta_{i,j-1} + \zeta_{i+1,j} + \zeta_{i-1,j} - 4\zeta_{i,j}}{\Delta x^2}$$

式中, ζ 为相对涡度, i, j 分别为模式 x, y 方向序号; $\zeta_{i,j} > 0, L < 0$ 为确定涡旋中心的首要条件。

对于符合以上条件的格点,再经人工识别剔除狭长形状(如由切变线、锋面引起)的涡旋。确定为涡旋中心后,以该点为中心,等格距倍数为半径作多个圆环,计算随着半径递增,每个环内所有格点的相对涡度平均值 $\bar{\zeta}$ 与标准差 σ 。其平均值应随半径增长而递减,当 $\bar{\zeta} < 0.1\zeta_{\max}, \sigma < 0.3\zeta_{\max}$ 时,此时圆环的半径即定为该中尺度涡旋的半径。

Davis 方法的设计初衷原为识别出现于北美地区的中尺度涡旋,应用在梅雨锋上中尺度涡旋识别时,存在以下问题:一是需要人工辅助剔除切变线或槽线造成的涡度大值区,降低了识别效率;二是涡度场与风场辐合不完全匹配,尤其在静止锋附近——涡度大值区往往对应风速切变大值区,而涡旋中心区域的涡度反而较弱;三是在梅雨锋上,局地新生的中尺度涡旋可能相继出现,之间距离较近,从涡度分布上看呈“黏连”状,而 Davis 的方法中要求涡度平均值随半径线性递减直至某一阈值,从而无法识别此类黏连涡旋簇。

1.1.2 基于高度场

沈杭锋等(2013)提出的基于高度场的方法分为程序自动识别与人工剔除两步。

(1) 首先通过程序自动在区域内选择高度场的低值中心,然后判断该低值中心周围的 25 个格点中是否有 20 个以上的格点低于某个阈值(850 hPa 为

1450 gpm; 925 hPa 为 740 gpm), 如果满足则视之为一个中尺度涡旋。

(2) 对选出的涡旋进行人工比对分析,通过与 850 和 925 hPa 流场的对比,剔除没有形成闭合涡旋的个例和热带低压个例。

检验表明(图略),利用高度场的识别方法应用于西南涡、尺度较大的 α 中尺度涡旋时较为准确,而对于梅雨锋上尺度较小的涡旋,因其高度场变化不明显,且时常出现在边界层内,其风场具有非地转风特征,使得低压中心与涡旋中心不完全匹配,从而造成识别的困难;另该方法在不同层次有不同的阈值要求,因此只适用于规定气压层。

1.2 基于风场的新方法

基于现有方法仍需要人工辅助,在识别中小尺度涡旋时受到气压场、涡度场、风场不配合的影响,本文提出一种新的方法:风场识别法。该方法以中尺度涡旋的定义:气旋式闭合环流为出发点,主要基于等压面上水平风场的分布进行识别。具体方法为:

对模式场中某一平面网格内的格点逐一进行判断:

(1) 该格点相对涡度为正。

(2) 寻找格点上下左右四个方向内距离最近的风速不为 0 的格点,设其从上开始沿顺时针方向分别为 a, b, c, d (图 1)。

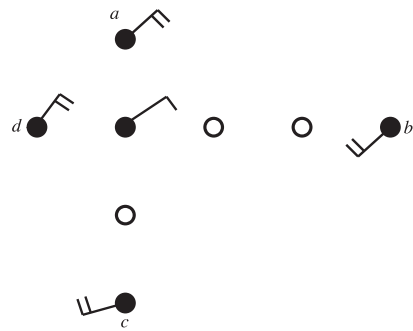


图 1 风场识别法示意图

Fig. 1 Schematic plot of algorithm based on wind field

(3) 计算 a, b, c, d 四点风向标准差 σ_{dir} , 满足: $\sigma_{\text{dir}} \geq 90^\circ, 0^\circ \leq a \leq 180^\circ, 90^\circ \leq b \leq 270^\circ, 180^\circ \leq c \leq 360^\circ, d \geq 270^\circ$, 或 $d \leq 90^\circ$ 。

(4) 计算四点风向的两两之差, 满足: 两对对角两点之差超过 45° , 且其中一对之差超过 90° 。相邻两点之差大于 0 , 且至少有三对之差大于 15° 。满足

以上四点要求者,则识别为一个中尺度涡旋中心。

该方法的主要优势在于无需人工干涉,提高了识别效率;且可识别任意等压面上涡旋中心,便于分析中尺度涡旋的三维结构。下文首先用两次梅雨锋上暴雨个例检验该方法的准确性,然后利用该方法分析两个个例中不同中尺度涡旋的垂直结构与生消演变过程。

2 结果检验与分析

本研究选取了两次梅雨锋期间不同类型中尺度涡旋造成的暴雨个例,收集了个例期间由美国国家环境预报中心(NCEP)发布的全球预报系统(GFS)的分析资料(Environmental Modeling Center, 2003),每日 4 个时次(世界时 00:00, 06:00, 12:00, 18:00),分辨率分别为水平 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (2013 年)和 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ (2014 年)(经纬网格),垂直 26 层,经度范围 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$,纬度范围 $90^{\circ} \text{S} \sim 90^{\circ} \text{N}$ 。考虑到该研究日后将应用于分辨率更高的业务区域数值模式下,因此利用中尺度数值预报模式 WRF 统一将分析资料降尺度至水平 $9 \text{ km} \times 9 \text{ km}$ 。分别使用三种方法识别两次过程中各个高度层上的中尺度涡旋。

2.1 个例简介

选取了 2013—2014 年间两次长江中下游地区梅雨期间大暴雨个例。两次暴雨过程均伴随着一个或多个中尺度涡旋发生发展。其中 2013 年 6 月 7 日的暴雨过程中出现深厚的 α 中尺度低涡,地面配合江淮气旋,除了暖云降水外伴随雷暴、雷雨大风等强对流天气发生;2014 年 6 月 21 日的暴雨过程持续时间长,期间静止锋维持在江淮地区,不断有 β 中尺度低涡生成东移。两个个例分别代表不同尺度的中尺度涡旋,用于检验新方法的可用性与普适性。

个例 1:2013 年 6 月 7 日的暴雨过程为西南涡东移发展加强而成,5 日 20:00(北京时,下文如无特殊指出均为北京时)之前在 850 hPa 上仅在云贵高原有气旋性环流,此后两天内快速发展加深,沿 700 hPa 切变线东移,7 日移到长江下游地区后移速减慢,诱发地面江淮气旋形成并东移,造成区域性暴雨。本次过程中出现的中尺度涡旋为典型的 α 中尺度低涡(图 2),低涡中心位于安徽中部,尺度较大,深厚阶段伸展到近 400 hPa 高度,自下而上呈近垂直结构,在天气图上可观察到闭合等压线,从始至终只存在一个中尺度低涡。

个例 2:2014 年 6 月 21 日的暴雨过程为典型的梅雨锋降水过程(图 3),自 19 日 14:00 起准静止锋呈东北—西南走向,停滞在长江中下游流域,至 21 日开始缓慢南落。配合低空切变与稳定的西南急流,高空有短波槽不断东移,提供正涡度平流输送,不断触发 β 中尺度低涡生成东移。大部分中尺度涡旋在 850 hPa 上最为明显,有时可观察到闭合等压线,然而总体强度较弱,形状不规则,在天气图上难以观察到明确的闭合环流。仅依靠天气图无法确切判断与统计分析中尺度涡旋中心与个数。

2.2 检验分析

2.2.1 单一等压面检验

首先比较同一时次同一等压面上不同方法的识别结果。如图 4 所示,对于个例 1,在 2013 年 6 月 7 日 08:00,模式 700 hPa 上有且仅有一个明显的中尺度涡旋中心,配合有闭合的等压线与气旋式环流风场中心。Davis 方法共识别出 530 个中心,大多集中在涡度大值区。风场识别法仅识别出了一个中心,该位置与真实的低涡中心(图 2)非常接近,该中心既是风场环流中心,亦是气压低值中心。高度场方法缺少 700 hPa 的阈值设定,此处不作比较。

对于个例 2,在 2014 年 6 月 21 日 08:00(图 5),850 hPa 切变线上及附近分布多个尺度较小、形状不规则的涡旋,此外在河南东北部亦存在一较弱的气旋式环流中心。从实况天气图(图 3)中可以看到 850 hPa 气压场较弱,切变线上存在两个形状不规则的弱低压中心,而由于高空观测站点稀疏,对于其中细致结构难以一一判断。Davis 方法共识别出 740 个中心,主要分布在涡度正值且涡度形状接近圆形的区域,在切变线上尤为密集,而未能识别出河南东北部的闭合气旋式环流中心。高度场方法共识别出 758 个中心,分布在切变线附近及南侧低压带内。由于风场不符合地转风特征,因此该方法识别出的中心绝大部分偏离了涡旋中心,不在本节内详细比较。风场识别法共识别出 12 个中心。

细致观察 Davis 方法和风场识别法所识别出的中心位置及邻近地区(图 6),图中绿色圆点代表 Davis 方法识别出的中心,紫色圆点代表风场识别法识别出的中心。从图 6a 上可见, Davis 方法识别出了过多的中心,几乎覆盖整个正涡度大值区。而风场识别法只挑出了位于气旋式环流中心的格点。在图 6b, 6c, 6e 上,风场环流中心不在涡度大值中心,这是由于风场环流中心风速较小,导致相对涡度小于

槽上风速更大的区域。而 Davis 方法只对涡度场进行判断,因此无法识别这些涡度中心与风场环流中心不匹配的涡旋中心。反之,在涡度大值区,即使没有闭合的环流风场,只要其涡度分布符合 Davis 方法的要求,仍被判定为中心,如图 6d 所示,在切变线上,南北气流速度极大,极易形成正涡度中心,而从风场环流来看并没有闭合环流中心,在完整的 Davis 方法中,这些形状狭长的切变线或槽线上的中心

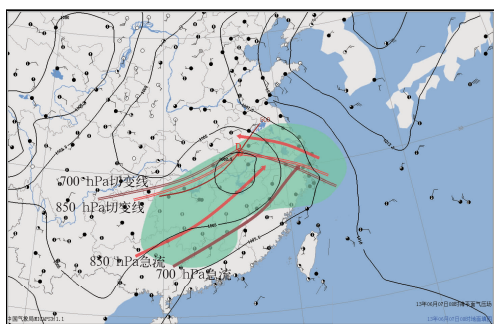


图 2 2013 年 6 月 7 日 08:00 天气形势:地面分析(站点与黑色等压线),500 hPa 槽线(棕色单线),雨区(绿色阴影)

Fig. 2 Synoptic chart at 08:00 BT 7 June, 2013: surface pressure analysis (plots and black contour line), trough line at 500 hPa (brown single line), shear line (double line) and jet streams (filled array) at 700 hPa (brown), shear line (double line) and jet streams (filled arrow) at 850 hPa (red), rain area (green shadow)

是需要人工来剔除的。从局部放大图(图 6)中可以看出,由于主要对风场进行判定,风场识别法识别的准确率较高,距离误差在 1~2 个格距内,且误判率远远低于无人工协助的 Davis 方法。

2.2.2 与气压场的关系

对新方法识别出的涡旋中心,逐一分析其位势高度拉普拉斯,即

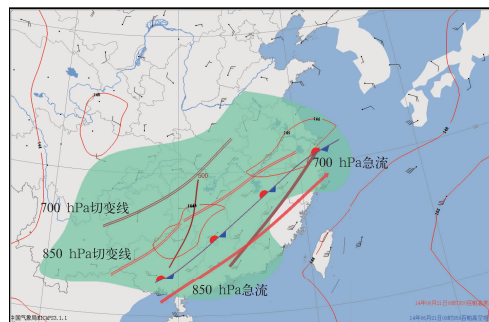


图 3 2014 年 6 月 21 日 08:00 天气形势:500 hPa 槽线(棕色单线),高度场(棕色等值线)与风场,雨区(绿色阴影),地面准静止锋(蓝线)

Fig. 3 Synoptic chart at 08:00 BT 21 June 2014: trough line at 500 hPa (brown single line), shear line (double line) and jet streams (filled arrow) at 700 hPa (brown), shear line (double line), jet streams (filled arrow), height (isolines) and wind plots at 850 hPa (red), rain area (green shadow), quasi-stationary front (blue line) on surface

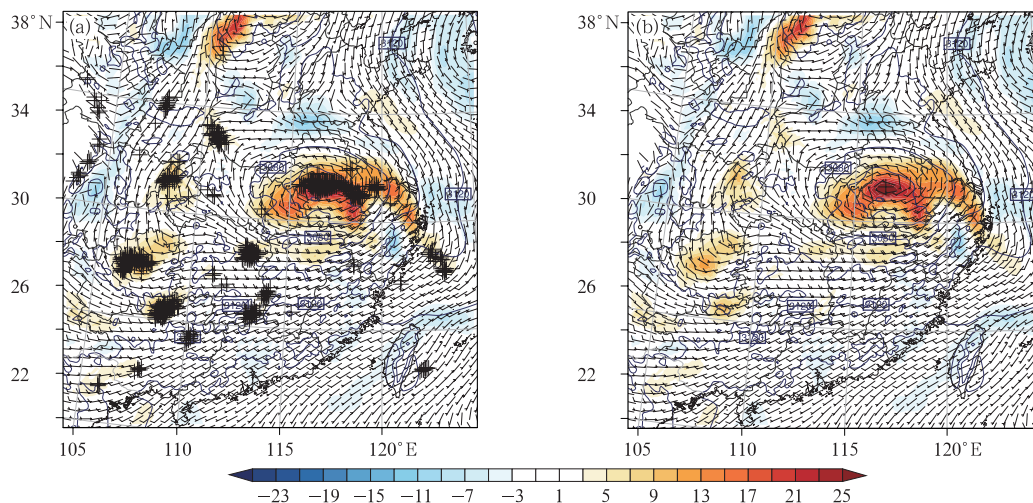


图 4 2013 年 6 月 7 日 08:00 模式 700 hPa 上涡度(阴影,单位: 10^{-5} s^{-1})、风场、高度场(蓝色线)及涡旋中心(+)分布
(a)Davis 方法, (b)风场识别法

Fig. 4 Distribution of simulated relative vorticity (shaded area, unit: 10^{-5} s^{-1}), wind, geopotential height (blue line) and the center of vortices (+) at 700 hPa by (a) Davis algorithm and (b) the algorithm based on wind field at 08:00 BT 7 June 2013

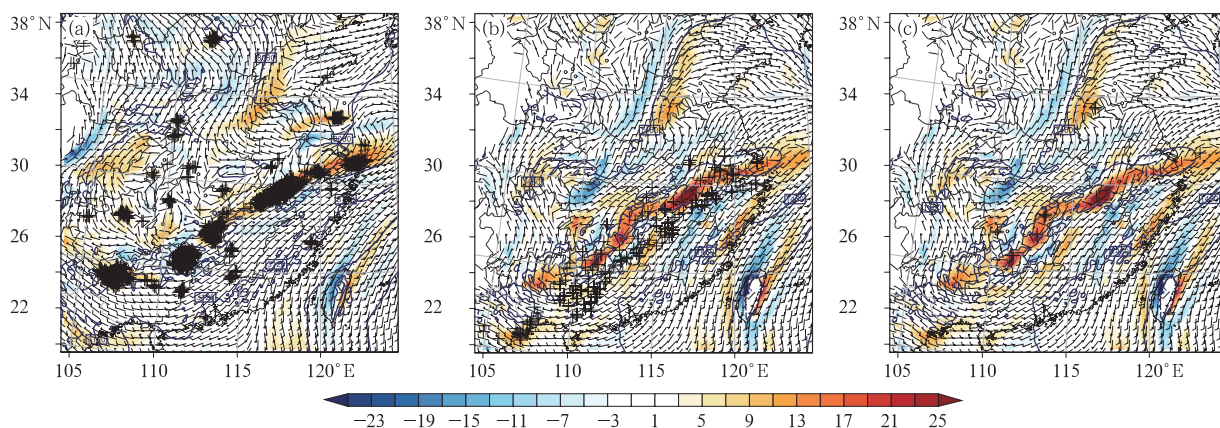


图 5 2014 年 6 月 21 日 08:00 850 hPa 上涡度(阴影,单位: 10^{-5} s^{-1})、风场、高度场(蓝色线)及涡旋中心(+)分布
(a)Davis 方法, (b)高度场识别法, (c)风场识别法

Fig. 5 Distribution of simulated relative vorticity, wind (shaded area, unit: 10^{-5} s^{-1}), geopotential height (blue line) and the center of vortices (+) at 850 hPa by (a) Davis algorithm, (b) algorithm based on geopotential field and (c) algorithm based on wind field at 08:00 BT 21 June 2014

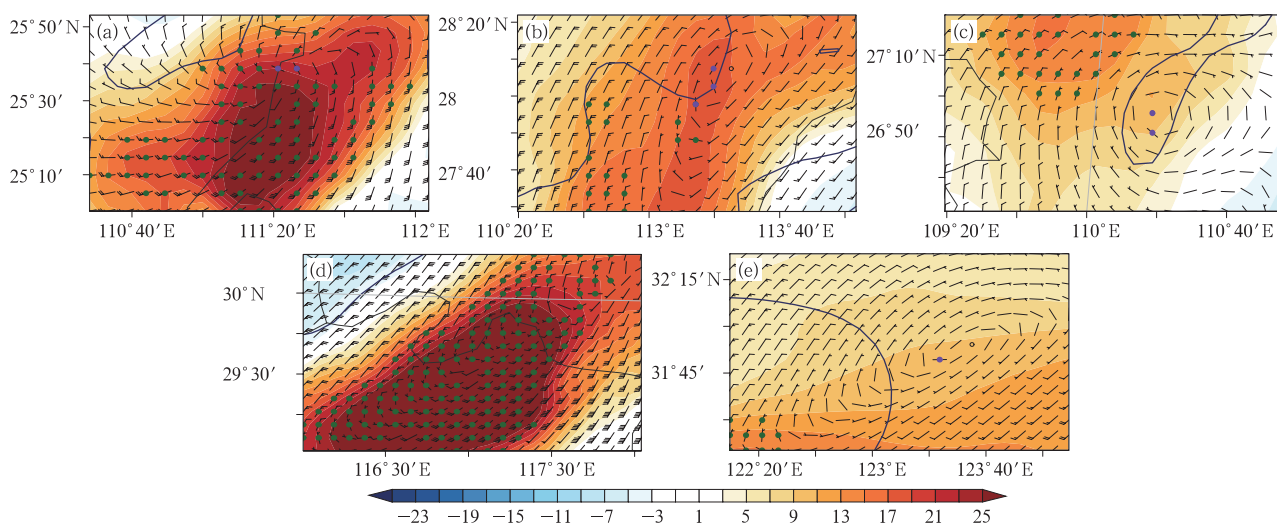


图 6 2014 年 6 月 21 日 08:00 模式 850 hPa 上局部涡度、风场、高度场及涡旋中心分布
(绿点和紫点分别代表 Davis 方法和风场识别法)

(a)广西、湖南交界处, (b)湖南东北部, (c)湖南西南角, (d)安徽、江西交界处, (e)上海东部海面

Fig. 6 Distribution of simulated relative vorticity, wind, geopotential height and the center of vortices at 850 hPa by Davis algorithm (green dots) and algorithm based on wind field (purple dots) at 08:00 BT 21 June 2014

(a) the border of Guangxi and Hunan, (b) north-east part of Hunan, (c) south-west part of Hunan, (d) the border of Anhui and Jiangxi, (e) east offshore of Shanghai

$$L_{\Phi} = \frac{\Phi_{i,j+1} + \Phi_{i,j-1} + \Phi_{i+1,j} + \Phi_{i-1,j} - 4\Phi_{i,j}}{\Delta x^2}$$

结果表明风场识别法识别出的涡旋中心的 L_{Φ} 有正有负,大部分算子小于 10 hPa;如 2013 年 6 月 7 日 08:00 700 hPa 上唯一的涡旋中心的 L_{Φ} 为 1.4 hPa。从上文也可知,当涡旋尺度较小时,等压线形状较不规则,闭合环流中心与气压低值中心并不匹配,因此虽然识别出了 758 个中心,绝大部分均为偏离真正涡旋中心的误判。尤其在边界层内,由

于地面摩擦作用,风场非地转风分布,与气压场的相关性就更不显著。因此单纯依靠高度场较难识别较小尺度的中尺度涡旋。

2.3 过程检验

2.3.1 涡旋垂直结构检验

风场识别法无特定的涡度或高度阈值限制,可对任意等压/高层进行分析识别。本研究对模式格点场进行垂直方向插值,每 25 hPa 取一层等压面,

逐一进行识别,从而考察中尺度涡旋的三维结构。

分析个例 1 唯一的中尺度涡旋(图 7),该中尺度涡旋在垂直上发展深厚,从 875~525 hPa 均能识别出涡旋中心。且随着高度增加,涡旋中心轴向东北倾斜,增加了中空位势不稳定,有利于对流发生发展。由图 7 可见,涡度大值中心的位置随高度变化较小,而风场中心却发生了明显偏移,是由于低层

北面东风风速切变较大,涡度中心落在流场中心南侧,而高层南面西南风速切变较大,涡度中心落在流场中心的北侧而造成的。若只用涡度场进行判定,涡旋中心便会被误判至风速较大的槽区。另外从图中等高线分布可知,并非所有流场中心均与低压中心重合,尤其在低层气压场较弱,仅靠高度场难以识别涡旋中心。

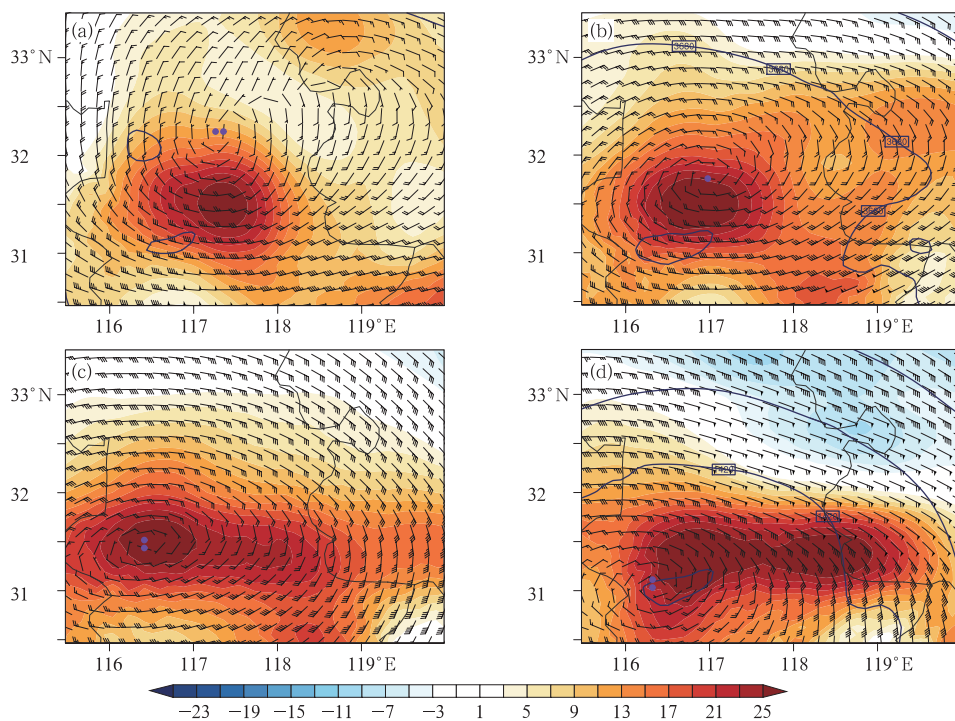


图 7 2013 年 6 月 7 日 08:00 (a)550 hPa, (b)650 hPa, (c)750 hPa, (d)850 hPa 上涡度、风场、高度场及涡旋中心(风场识别法)分布

Fig. 7 Distribution of simulated relative vorticity, wind, geopotential height and the center of vortices at (a) 550 hPa, (b) 650 hPa, (c) 750 hPa, (d) 850 hPa by algorithm based on wind field at 08:00 BT 7 June 2013

个例 2 中存在多个中尺度涡旋,选出其中垂直结构较清晰的两个涡旋分别进行分析。第一个位于上海东部的海面上(图 8),高度较低,从 975~800 hPa 均能观察到闭合气旋式环流风场中心,且在地面上出现了对应的江淮气旋。该涡旋呈椭圆形,长轴沿东北—西南方向,随着高度增加,涡旋亦向东北方向倾斜。

另一个涡旋位于湖南南部(图 9),切变线西南侧上,从 850~600 hPa 均识别出了涡旋中心,该涡旋水平结构接近正圆,垂直方向上接近垂直,稍向北倾斜,与之相对应的相对涡度大值区主要分布在风场中心东南侧,在垂直方向上变化亦较小。从图中也可看出在较低高度,真实风场与地转风场夹角变

大,体现了地面摩擦的作用。

从这两个个例中可以看出,中尺度涡旋的中心、形状皆会随着高度发生不同变化,即使在同一时间、同一切变线上生成的两个涡旋,三维结构也有明显差异。准确识别各高度层上中尺度涡旋的分布与演变,可以帮助预报员分析其结构,有助于更准确地判断其发展趋势。

2.3.2 涡旋时间演变检验

利用风场识别法对 2014 年 6 月 20 日 08:00 至 22 日 02:00 的 850 hPa 等压面上资料进行识别,可观察分析此次静止锋切变线上涡旋生消过程。由于 NCEP 资料时间分辨率为 6 h 一次,因此个例中模式数据时间间隔为 6 h,而在实际业务中,可识别时

间间隔不受限制,如用于每 6 min 输出一次的模式资料,则中尺度涡旋识别产品的时间间隔也缩短至 6 min。

由图 10 可知,在切变线上不断有新的中尺度涡旋生成、发展、消散。如 20 日 08:00 在湖南北部地区上空可见一较弱中尺度涡旋,四周风速较小,随着时间发展逐渐向东北移动加强,至 20 日 14:00 风速增大,发展旺盛,结构紧密,之后强度逐渐减弱消散,至 21 日 08:00 并入切变线中,而其西南方向又有新

的涡旋生成。21 日 14:00 之后切变线上涡度减小,切变线南侧西南风逐渐转为南风,之后少有结构清晰的中尺度涡旋再生成。

在切变线北侧,上海西部地区,还观察到一较弱涡旋结构,环流风场风速较小,气压变化亦不明显,然而该结构从 20 日 08:00 一直存在至 21 日 02:00,之后随着切变线东段北抬与切变线合并。由此可见运用风场识别法,可以分析中尺度涡旋的时空特征。

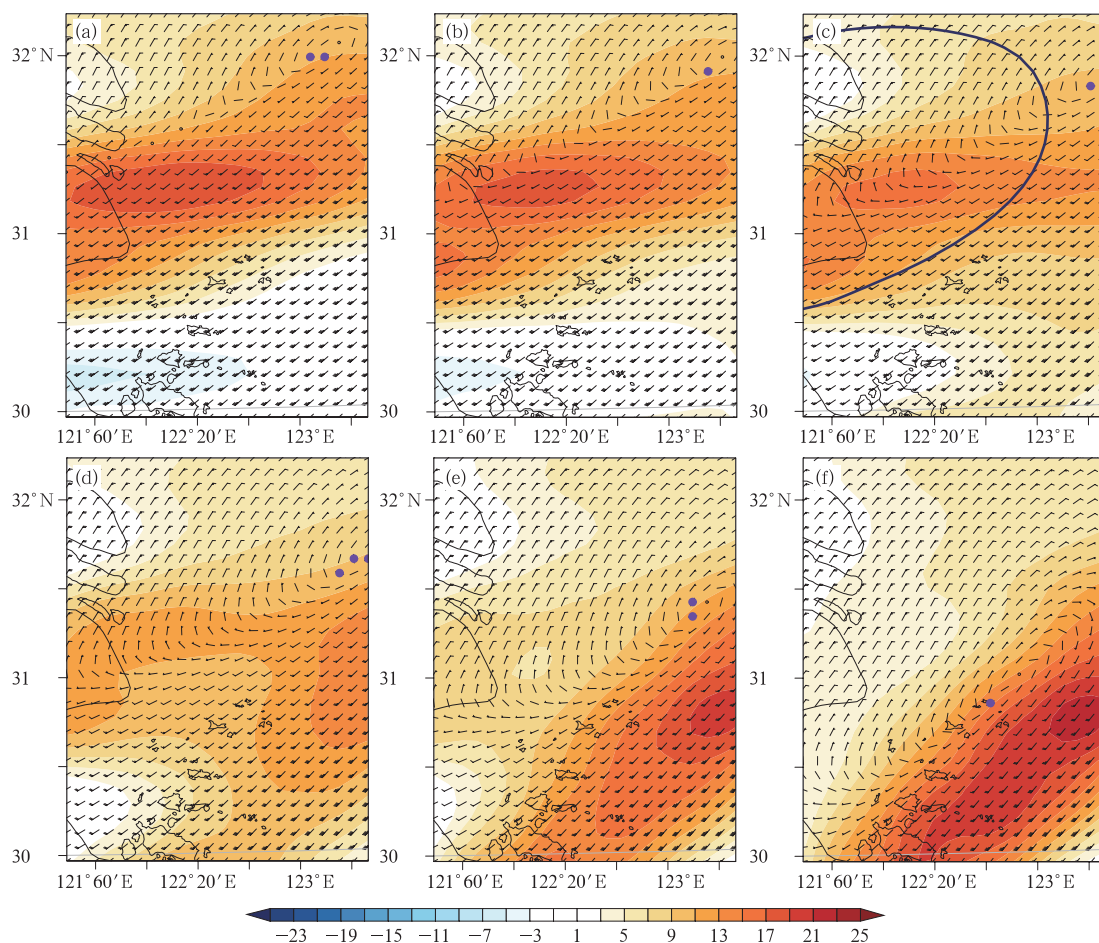


图 8 2014 年 6 月 21 日 08:00 (a)800 hPa, (b)825 hPa, (c)850 hPa, (d)875 hPa, (e)900 hPa 和 (f)925 hPa 上海沿海地区涡度、风场、高度场及涡旋中心(风场识别法)分布

Fig. 8 Distribution of simulated relative vorticity, wind, geopotential height and the center of vortices by algorithm based on wind field at (a) 800 hPa, (b) 825 hPa, (c) 850 hPa, (d) 875 hPa, (e) 900 hPa, (f) 925 hPa in coastal area near Shanghai at 08:00 BT 21 June 2014

3 结论与讨论

为提高梅雨锋上中尺度涡旋客观识别的效率与准确率,针对现有中尺度涡旋识别方法在识别梅雨锋上局地新生涡旋时存在的困难,本研究利用

2013—2014 年间两次梅雨期间暴雨个例的模式分析资料检验了现有的两类识别中尺度涡旋的方法:基于涡度场和气压/高度场。分析表明,现有的这两种方法用于识别梅雨锋上局地新生的尺度较小、相对不规则的涡旋时,由于其不遵守地转风规则,涡度、气压与风场分布不配合,受到一些局限。

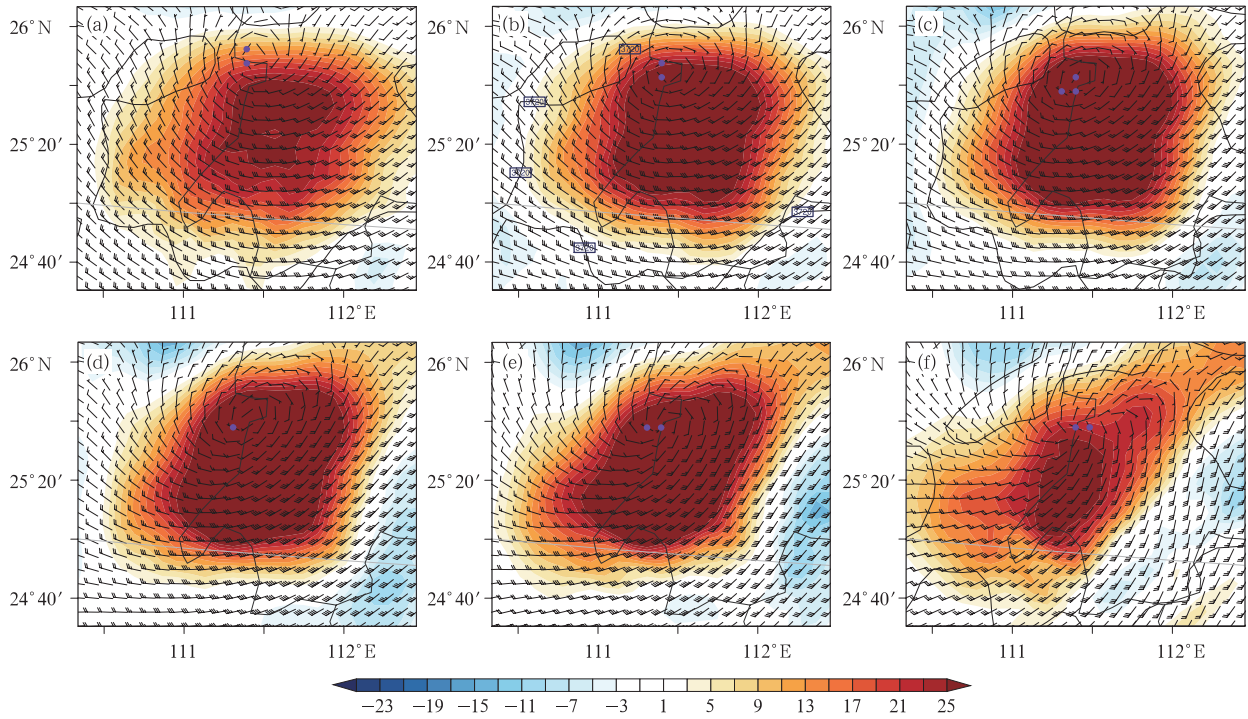


图 9 2014 年 6 月 21 日 08:00 (a)600 hPa, (b)650 hPa, (c)700 hPa, (d)750 hPa, (e)800 hPa

和(f)850 hPa 上湖南南部地区涡度、风场、高度场及涡旋中心(风场识别法)分布

Fig. 9 Distribution of simulated relative vorticity, wind, geopotential height and the center of vortices by algorithm based on wind field at (a) 600 hPa, (b) 650 hPa, (c) 700 hPa, (d) 750 hPa, (e) 800 hPa, (f) 850 hPa near southern Hunan at 08:00 BT 21 June 2014

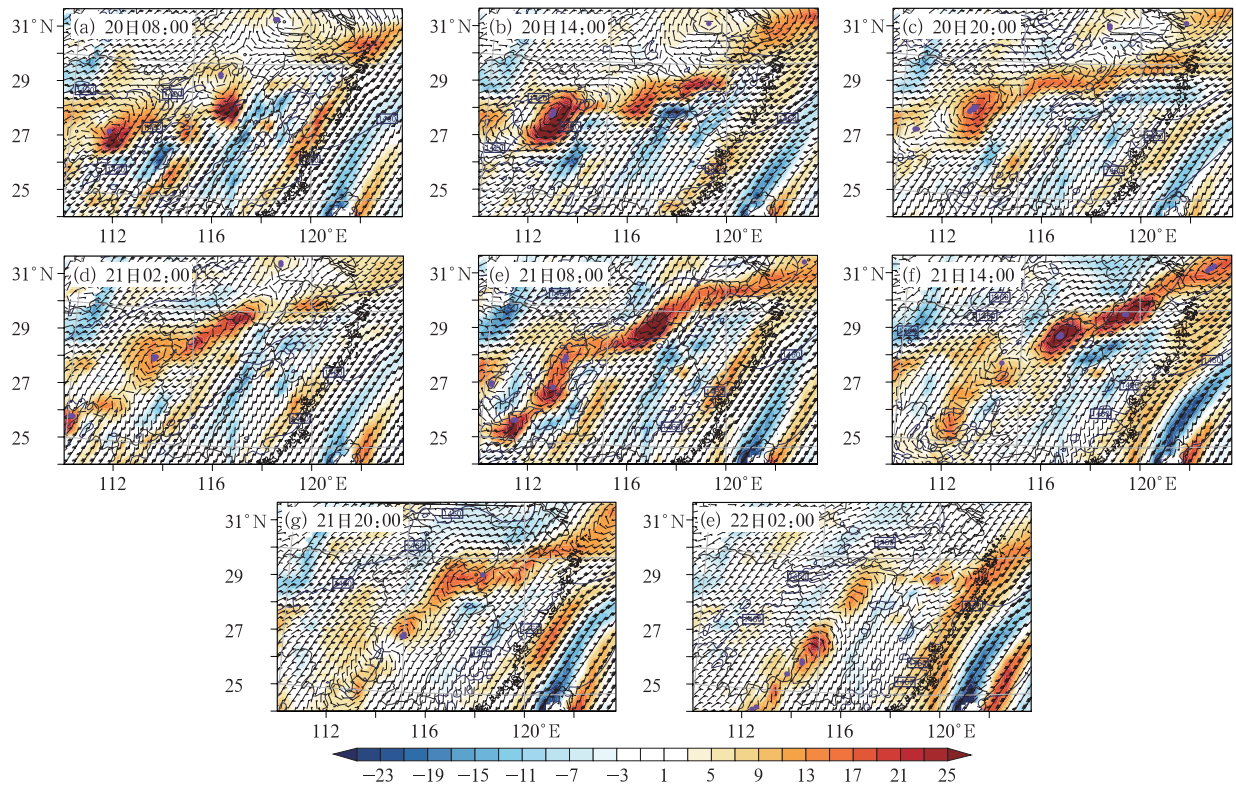


图 10 2014 年 6 月 20 日 08:00 至 22 日 02:00 每隔 6 h 模式 850 hPa 上涡度、风场、高度场及涡旋中心(风场识别法)分布

Fig. 10 Distribution of 6 h simulated relative vorticity, wind, geopotential height and the center of vortices by algorithm based on wind field from 08:00 BT 20 to 02:00 BT 22 June 2014

因此本研究提出了一种新的自动识别方法——风场识别法。该方法从闭合气旋式环流定义出发,主要基于风场结构的判断。通过对个例的检验,发现风场识别法的准确率高于没有人工干涉下的其他两种方法,误判率较低,利用风场识别法对两次个例中出现的尺度涡旋进行垂直方向的结构分析和时间上的追踪,表明该方法没有层高与阈值要求,可适用于任意高度与时间,从而便于观察中尺度涡旋的三维结构与时间演变。

然而新的方法也存在一些不足,如仅用风场信息难以定出中尺度涡旋的确切半径,对于椭圆形且长轴倾斜的涡旋中心,识别误差较大等。下一步将着手在这些方向进行改进,以进一步提高识别准确度与识别参数,以期在业务应用,尤其是梅雨期暴雨预报中为预报员提供更大帮助。

参考文献

- 陈永林,俞小鼎,杨引明,等,2016. 江苏一次锢囚状 MCS 和相关中尺度涡旋 MCV 的观测分析[J]. 气象,42(2):166-173.
- 程麟生,冯伍虎,2001. “987”突发大暴雨及中尺度低涡结构的分析和数值模拟[J]. 大气科学,27(4):618-627.
- 董佩明,赵思雄,2004. 梅雨锋两类中尺度低压(扰动)及其暴雨的数值研究[J]. 气候与环境研究,9(4):641-657.
- 傅慎明,于翥,王东海,等,2012. 2010 年梅雨期两类东移中尺度涡旋的对比研究[J]. 中国科学,42(8):1282-1300.
- 高坤,徐亚梅,2001. 1999 年 6 月下旬长江中下游梅雨锋低涡扰动的结构研究[J]. 大气科学,25(6):740-756.
- 高守亭,赵思雄,周晓平,等,2003. 次天气尺度及中尺度暴雨系统研究进展[J]. 大气科学,25(4):465-478.
- 谷文龙,2008. 长江下游梅雨锋中尺度涡旋统计分析与模拟研究[D]. 南京:南京信息工程大学.
- 胡伯威,潘鄂芬,1996. 梅雨期长江流域两类气旋性扰动和暴雨[J]. 应用气象学报,7(2):138-144.
- 孔凡超,赵庆海,李江波,2016. 2013 年 7 月冀中特大暴雨的中尺度系统特征和环境条件分析[J]. 气象,42(5):578-588.
- 廖移山,李武阶,闵爱荣,等,2006. “6. 29”淮河暴雨过程中尺度系统结构特征的数值模拟分析[J]. 应用气象学报,17(4):421-430.
- 刘瑞翔,丁治英,王一颖,2016. 2007—2013 年夏季江淮地区 MCS 和 MCV 与暴雨关系的统计特征[J]. 气象科学,36(2):236-243.
- 沈杭锋,翟国庆,尹金方,等,2013. 长江下游梅汛期尺度涡旋特征分析[J]. 大气科学,37(4):923-932.
- 孙建华,张小玲,齐琳琳,等,2004. 2002 年 6 月 20—24 日梅雨锋中尺度对流系统发生发展分析[J]. 气象学报,62(4):423-438.
- 孙淑清,杜长萱,1996. 梅雨锋的维持与其上扰动的发展特征[J]. 应用气象学报,7(2):153-159.
- 孙淑清,田生春,杜长萱,1993. 中尺度低涡发展时高层流场特征及能量学研究[J]. 大气科学,17(2):137-147.
- 陶诗言,等,1980. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社.
- 王欢,倪允琪,2006. 2003 年淮河汛期一次中尺度强暴雨过程的诊断分析和数值模拟研究[J]. 气象学报,64(6):734-742.
- 王薇,潘益农,束宇,2011. 中国东部夏季中尺度对流系统以及中尺度对流涡旋的特征[J]. 南京大学学报:自然科学版,47(6):692-702.
- 杨引明,谷文龙,赵锐磊,等,2010. 长江下游梅雨期低涡统计分析[J]. 应用气象学报,21(1):11-18.
- 尹洁,郑婧,张瑛,等,2011. 一次梅雨锋特大暴雨过程分析及数值模拟[J]. 气象,37(7):827-837.
- 翟国庆,王智,何斌,2003. 长江中下游梅雨期中尺度涡旋族发生演变分析[J]. 气象学报,61(6):661-671.
- 张家国,黄小彦,周金莲,等,2013. 一次梅雨锋上中尺度气旋波引发的特大暴雨过程分析[J]. 气象学报,02:228-238.
- 赵思雄,陶祖钰,孙建华,等,2004. 长江流域梅雨锋暴雨机理的分析研究[M]. 北京:气象出版社.
- 郑婧,孙素琴,吴静,等,2014. 梅雨锋短时大暴雨的多尺度环境场分析[J]. 气象,40(5):570-579.
- 周宏伟,王群,裴道好,等,2011. 苏北东部一次梅雨锋大暴雨过程的多尺度特征[J]. 气象,37(4):432-438.
- 周玉淑,李柏,2010. 2003 年 7 月 8—9 日江淮流域暴雨过程中涡旋的结构特征分析[J]. 大气科学,34(3):629-639.
- Bartels D L, Maddox R A, 1991. Mid-level cyclonic vortices generated by mesoscale convective systems[J]. Mon Wea Rev, 119(1):104-118.
- Branch E M C, Camp S, Maryland E P J, et al, 2010. Patterns of Precipitation and Mesoscale Evolution in Midlatitude Mesoscale Convective Vortices[J]. Mon Wea Rev, 138(3):909-931.
- Davis Christopher A, David A A, Stanley B T, 2002. Detection and prediction of warm season mid-tropospheric vortices by the rapid update cycle[J]. Mon Wea Rev, 130:24-42.
- Environmental Modeling Center, 2003. The GFS Atmospheric Model[R]. NCEP Office Note 442, Global Climate and Weather Modeling.
- Fritsch J M, Murphy J D, Kain J S, 1994. Warm core vortex amplification over land[J]. J Atmos Sci, 51(13): 1780-1807.
- James E P, Richard H J, 2010. Patterns of precipitation and mesoscale evolution in midlatitude mesoscale convective vortices[J]. Mon Wea Rev, 138:909-931.
- Maddox R A, 1980. Mesoscale convective complexes[J]. Bull Amer Meteor Soc, 61(11):1374-1387.
- Menard R D, Fritsch J M, 1989. A mesoscale convective complex-generated inertially stable warm core vortex[J]. Mon Wea Rev, 117(6):1237-1261.
- Trier S B, Davis C A, Tuttle J D, 2000. Long-lived mesoconvective vortices and their environment. Part I: observations from the central United States during the 1998 warm season[J]. Mon Wea Rev, 128(10):3376-3395.
- Zhai G Q, Zhou L L, Wang Z, 2007. Analysis of a group of weak-small-scale vortices in the Planetary Boundary layer in the mei-yu front[J]. Adv Atmos Sci, 24(3):399-408.