

非地转强迫对 Fitow(0114)暴雨的影响^{*}

李江南

闫敬华

(广州中山大学大气科学系,季风与环境研究中心,广州,510275) (中国气象局广州热带海洋气象研究所,广州,510080)

魏晓琳 吴池胜

侯尔滨

(广州中山大学大气科学系,季风与环境研究中心,广州,510275) (澳门地球物理暨气象局,澳门)

王安宇

(广州中山大学大气科学系季风与环境研究中心,广州,510275)

摘 要

利用非静力中尺度模式 MM5 对 0114 号台风 Fitow 从 2001 年 8 月 31 日 00 时~9 月 2 日 00 时(UTC,下同)的降水过程进行了模拟研究。结果表明,MM5 对 Fitow 登陆过程中暴雨落区和强度的模拟与实况比较一致。模拟结果较好地再现了暴雨的中尺度特征。正是维持少动的台风倒槽和嵌入其中的中小尺度系统相互作用造成了暴雨的发生、发展,而高、低空中尺度散度场的配置对暴雨有很好的指示意义。在华南台风暴雨区无论是高层还是低层,都存在很强的非地转作用,非地转涡度项对散度倾向项是重要的强迫因素;但非地转作用的实现与中高纬度地区有本质的区别,在低层非地转作用是由于强的位势场气旋涡度($-\nabla^2\phi < 0$)与弱的流场气旋涡度($f\zeta > 0$)不平衡产生的;而高层非地转作用是由于强的位势场反气旋涡度($-\nabla^2\phi > 0$)与弱的流场反气旋涡度($f\zeta < 0$)不平衡产生的。非地转作用是暴雨中尺度系统上升运动发展的触发机制。从动力学角度解释了用非地转 Q 矢量散度场来判断暴雨落区要比用准地转 Q 矢量散度场好的原因。

关键词: 华南台风,暴雨,非地转强迫。

1 引 言

赵瑞星、陶诗言^[1]在对梅雨锋暴雨的不平衡场研究中指出,梅雨锋区存在明显的非地转作用,尤其在强降水区的低层。王淑静等^[2]在探讨台风暴雨的落区判据时表明,用非地转部分 $MPV'2$ 代替在倾斜涡度发展理论下所推得的强降水判据(即 $MPV1 < 0$ 同时 $MPW > 0$)中的湿位涡水平分量 $MPV2$ 更为宜。岳彩军等^[3]在比较一次典型的梅雨锋暴雨过程中的几种 Q 矢量后指出,就对降水的落区及强度的反映能力而言,非地转 Q 矢量好于准地转 Q 矢量及半地转 Q 矢量。这些工作都通过一些实况资料的诊断分析从不同的角度反映了暴雨中确实存在非地转作用。但利用常规观测资料很难得到暴雨中小尺度的变化特征,而数值模式是一个有效的工具,

如:孟智勇等^[4]利用 MM5 讨论过 9406 号台风暴雨过程中西风槽与台风相互作用的中尺度特征,冯伍虎等^[5]利用 MM5 再现了 9608 号台风暴雨过程大尺度和 α 中尺度天气系统的发生、发展和演变。本文利用 MM5 对登陆华南的台风 Fitow(0114 号)暴雨过程进行模拟研究,着重探讨非地转作用对华南台风暴雨的影响。

Fitow(0114 号)生成于南海北部海面,最初是个热带低压,2001 年 8 月 29 日 00 时在海南省东北部沿海登陆,30 日上午进入北部湾海面,后加强为热带风暴,中心附近风速 8 级。31 日 03 时在广西北海市沿海登陆,登陆后最大风速 8 级,当晚减弱为热带低压。由于 Fitow 登陆后移动缓慢,给海南、广东、广西带来数天的强降雨,造成海南大广坝流域出现两次洪峰,其中第一次为 27 a 一遇洪水标准;粤

* 初稿时间:2003 年 12 月 12 日;修改稿时间:2004 年 6 月 18 日。

资助课题:国家科技部社会公益研究项目“我国南方致洪暴雨预警系统研究”和中山大学青年教师科研启动基金资助项目。

作者简介:李江南,1968 生,湖南人,博士,主要从事台风、暴雨的数值模拟和热带气候研究。

西暴雨成灾, 茂名、湛江、阳江 3 市的一些地区出现局部性洪涝灾害, 并造成人员伤亡。

2 模式和资料

本文使用日本气象厅(JMA)提供的水平分辨率为 $1.25^{\circ} \times 1.25^{\circ}$ 的格点资料作为 MM5 模式的初猜场, 加入模拟范围内的探空、地面、船舶站和浮标站等实测资料形成初始场。粗网格区域格距为 54 km; 细网格区域格距为 18 km。模式垂直方向 23 层, 模式顶为 100 hPa。粗、细网格区域的时间积分步长分别为 120 和 40 s。从 2001 年 8 月 31 日 00

时积分到 9 月 2 日 00 时。粗、细网格区域的积云对流参数化分别采用 Kain-Fritsch 方案和 Grell 方案, 边界层物理过程都采用 Blackadar 的高分辨率边界层模式。

3 暴雨的中尺度特征

图 1 是观测和模拟的 24 h 降水分布, 从图上可以看出, 模拟的暴雨落区和强度与观测结果比较一致。实况降水中(图 1a)有 3 块中心雨量超过 100 mm 的大暴雨区, 其中最大暴雨中心出现在广西北海附近(文中名为 A), 雨量超过 200 mm; 第 2 块

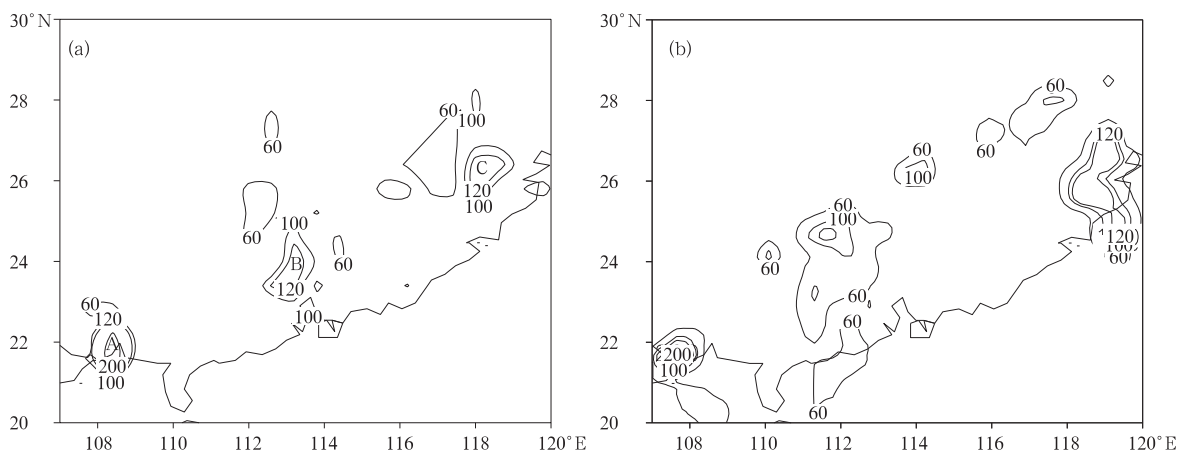


图 1 8 月 31 日 00 时到 9 月 1 日 00 时的 24 h 暴雨分布

(a. 实况, b. 模拟; 单位: mm)

Fig. 1 The distribution of 24 hours heavy rain (>50 mm) between 00:00 UTC 31 Aug—00:00 UTC 1 Sept.

(a. observation, b. model)

暴雨区在广州及周边地区(文中名为 B), 中心雨量超过 120 mm; 第 3 块暴雨区是在福建和浙江交界地区(文中名为 C), 中心雨量也超过 120 mm。这些实况特征在模拟结果中(图 1b)都得到了较好的反映。

A 暴雨发生在 8 月 31 日 15 时, 到 9 月 1 日 00 时基本结束(图 2), A, B 和 C 暴雨(图略)在 8 月 31 日 18 时后的几个小时都非常集中。从图 3 可以看到, 虽然台风登陆后强度明显减弱, 但台风中心一直在北部湾沿岸, 移动缓慢; 呈西南—东北向的台风倒槽穿过广东, 延伸到福建和浙江沿海; 维持较长时间的台风倒槽系统无疑提供了有利于暴雨发生发展的环境条件。图 4 是滤波后(采用以 Barnes 空间滤波方法为基础的 Maddox 方案^[6], 最大响应波长 500 km)的中尺度散度场, 对应于 A, B 和 C 3 个暴雨区, 在低层 850 hPa 有 3 个中尺度强辐合中心, 在高空 300 hPa 有 3 个中尺度强辐散中心。这与党人庆等^[7]的

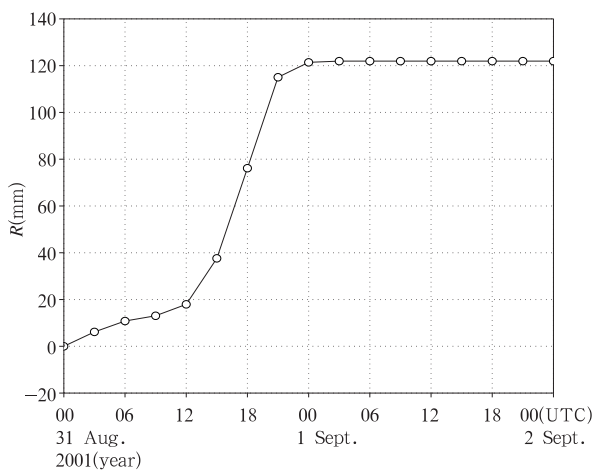


图 2 暴雨 A($1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 平均) 累计降雨量(R) 随时间变化(单位: mm)

Fig. 2 The variation of the accumulated precipitation (average rainfall for $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ area over rainstorm A) with time (unit: mm)

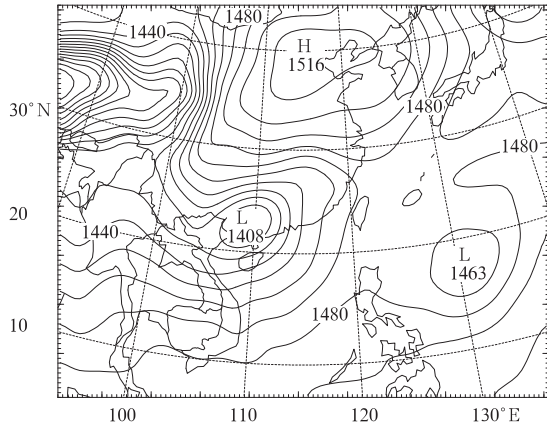


图3 8月31日18时850 hPa的位势高度场
(单位:gpm)

Fig. 3 850 hPa geopotential height field at
18:00 UTC 31 Aug (unit: gpm)

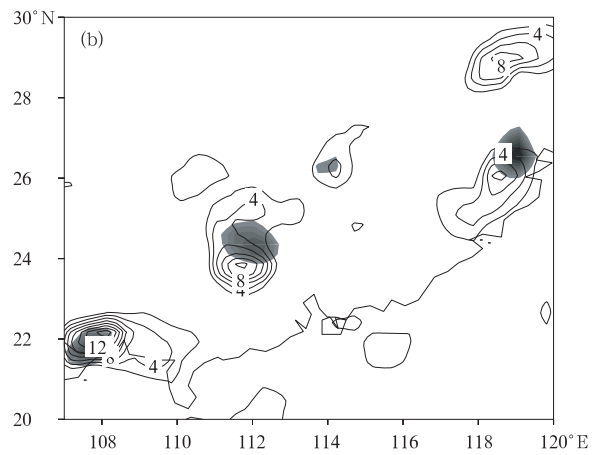
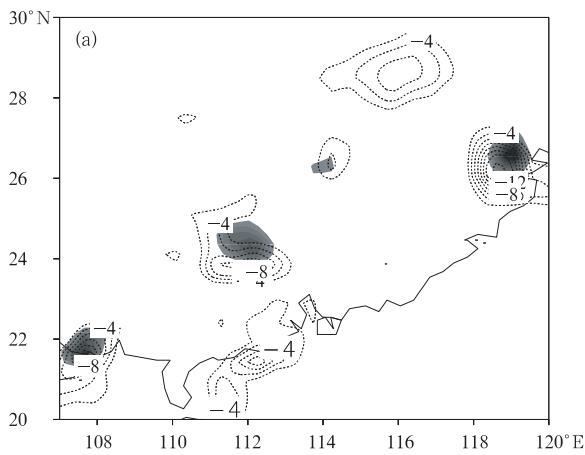


图4 8月31日18时的散度场

(a. 850 hPa, b. 300 hPa; 单位: 10^{-5}s^{-1} , 等值线间隔: $2 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$; 阴影部分是后3 h超过30 mm的降水)

Fig. 4 Divergence field at 18:00 UTC 31 Aug

(a. 850 hPa, b. 300 hPa; unit: 10^{-5}s^{-1} , interval: $2 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$; shaded area for the subsequent 3 h rainfall greater than 30 mm)

$$\frac{\partial D}{\partial t} = (f\zeta - \nabla^2 \phi - \beta u) - \nabla \cdot (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} - \nabla \cdot \left(\omega \frac{\partial}{\partial p} \right) \mathbf{V} \quad (1)$$

式中 D 为水平散度, ϕ 为位势高度, 其余皆为气象常用符号。其中右边第1项为非地转涡度强迫项; 第2项为水平方向速度平流辐散强迫项; 第3项为垂直方向速度平流辐散强迫项。我们利用3 h间隔的模式结果计算了3个暴雨中心区域($1^\circ \times 1^\circ$ 范围)各等压面上的平均散度收支(图5), 在暴雨中尺度系统发展时, 散度倾向及方程右端各强迫项都达 10^{-9}s^{-2} 量级, 与赵瑞星、陶诗言用6 h一次的实际中尺度加密观测资料计算的梅雨锋暴雨中的散度收

结果相似。这说明高低空散度场的配置对暴雨落区有很好的指示意义, 暴雨的发生发展是台风系统和嵌入其上的一些中小尺度系统相互作用的结果。

4 暴雨中的非地转作用

4.1 非地转涡度项对散度倾向的强迫作用

前面的分析表明, 在中尺度系统中高低空散度场的配置与暴雨的发生有十分密切的关系。利用散度及其变化与中尺度系统的这种对应关系来分析和预报风暴、暴雨等中尺度天气现象也取得了较好的效果^[8]。故可以从散度方程出发来讨论本次暴雨的强迫机制。

p 坐标系中的散度方程可写成如下形式

支量级一样^[1]; 其中暴雨A的量级最大值达 10^{-8}s^{-2} , 与Fankhauser^[9]用实测风计算的一次中尺度飚线过程所得的结果一致。而用12 h一次的资料, 汪钟兴、孙淑清^[10]计算了1982年6月长江中下游的一次暴雨, 刘春霖^[11]计算了1977年7月河北东部的一次台风暴雨, 其值都在 10^{-10}s^{-2} 左右。可见3 h一次的模拟结果较好地反映了暴雨中尺度散度场的变化。就散度倾向项而言, A, B, C 3个暴雨区都存在低层辐合加深、高层辐散加强的垂直结构。比较右端3项可以发现, 对于3个暴雨区, 只有非地转涡度强迫项与散度倾向项在垂直方向上的变化趋势基本保持一致, 也就是说, 无论在高层还是低层, 都存在很强的非地转作用, 非地转涡度项对散度倾向项是重要的强迫因素, 在形成低层辐合、高空辐散

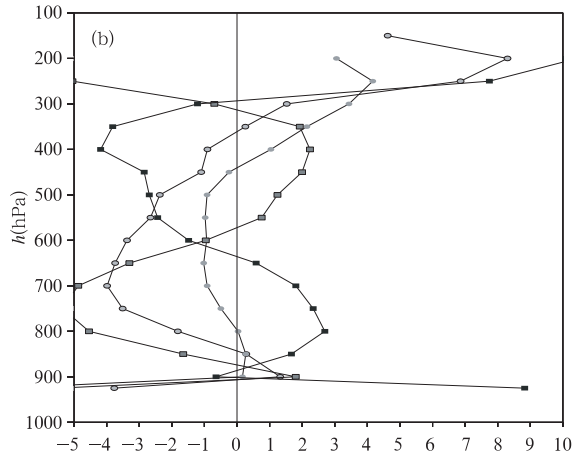
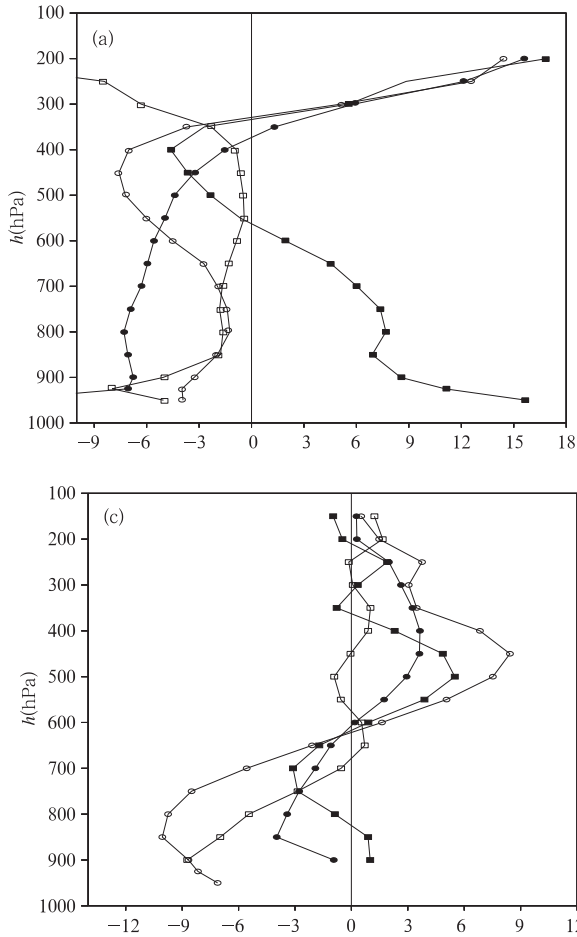


图5 8月31日18时暴雨中心($1^\circ \times 1^\circ$ 平均)散度方程各项的垂直廓线(a.暴雨A,b.暴雨B,c.暴雨C;单位: 10^{-9}s^{-2})

空心圆线是 $\frac{\partial D}{\partial t}$, 实心圆线是 $(f\zeta - \nabla^2 \phi - \beta u)$, 空心方框线是 $-\nabla \cdot (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V}$, 实心方框线是 $-\nabla \cdot \left(\omega \frac{\partial}{\partial p} \right) \mathbf{V}$

Fig. 5 Vertical profiles of every item in divergence equation over rain storm centers (average for $1^\circ \times 1^\circ$ area) at 18:00 UTC 31 Aug (a. rain storm A, b. rain storm B, c. rains torm C; unit: 10^{-9}s^{-2} , Open circle lines show $\frac{\partial D}{\partial t}$, Closed circle lines show $(f\zeta - \nabla^2 \phi - \beta u)$, Open square lines show $-\nabla \cdot (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V}$, Closed square lines show $-\nabla \cdot \left(\omega \frac{\partial}{\partial p} \right) \mathbf{V}$)

这样有利于暴雨发生的中尺度散度场配置的过程中,非地转涡度项有重要的贡献。

βu 在非地转涡度强迫项中只是一个小项,非地转作用的产生主要是由于 $f\zeta$ 和 $\nabla^2 \phi$ 的不平衡造成的。从图6可以发现,无论是高层还是低层,在3个暴雨区都是 $|\nabla^2 \phi|$ 值 $>$ $|f\zeta|$ 值,也大于 $\left| \frac{\partial D}{\partial t} \right|$ 值,特别是在A暴雨区 $|\nabla^2 \phi|$ 要大1个量级。 $-\nabla^2 \phi$ 与 $\frac{\partial D}{\partial t}$ 的正负变化基本一致,在低层总是使 $\frac{\partial D}{\partial t} < 0$,辐合加强,在高层是 $\frac{\partial D}{\partial t} > 0$,辐散加强,而 $f\zeta$ 则正好相反。这表明,在低层非地转作用是由于强的位势场气旋涡度 ($-\nabla^2 \phi < 0$) 与弱的流场气旋涡度 ($f\zeta > 0$) 不平衡产生的;而在高层非地转作用是由于强的位势场反气旋涡度 ($-\nabla^2 \phi > 0$) 与弱的流场反气旋涡度 ($f\zeta < 0$) 不平衡产生的。刘春蓁^[11] 在研究一次河北东部的台风暴雨时指出,暴雨区对流层中、下部有很强的非地转涡度强迫,但它主要是因为强的流场反气旋涡度 ($f\zeta < 0$) 与弱的位势场反气旋

涡度 ($-\nabla^2 \phi > 0$) 不平衡产生的。赵瑞星、陶诗言^[1] 也发现非地转项起很大的作用,特别是强降水区的低层;但从数值大小来看, $|f\zeta|$ 值比 $|\nabla^2 \phi|$ 值要大一个量级。这说明华南台风暴雨中非地转作用的实现与中高纬度地区有根本的区别。

4.2 非地转强迫对上升运动的触发作用

大气中的上升运动是实现潜在不稳定释放的动力因素,降雨量的大小与上升运动的强弱密切相关。用 \mathbf{Q} 矢量表示强迫项的 ω 方程有共同的形式

$$\nabla^2(\alpha\omega) + f^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} = -2 \nabla \cdot \mathbf{Q} \quad (2)$$

当 ω 场具有简谐波状特征时, $\omega \propto \nabla \cdot \mathbf{Q}$ 。正是利用 \mathbf{Q} 矢量散度场与 ω 的这种关系,在判断暴雨落区和强度时 \mathbf{Q} 矢量散度场得到了广泛的应用^[3],越来越多的工作指出非地转 \mathbf{Q} 矢量散度场比准地转 \mathbf{Q} 矢量散度场或半地转 \mathbf{Q} 矢量散度场更能反映降水的落区,但这些工作主要是通过比较各种 \mathbf{Q} 矢量散度场与降水分布的对应关系来说明,很少有工作计算不同 \mathbf{Q} 矢量形式下 ω 的大小以从动力学上给以

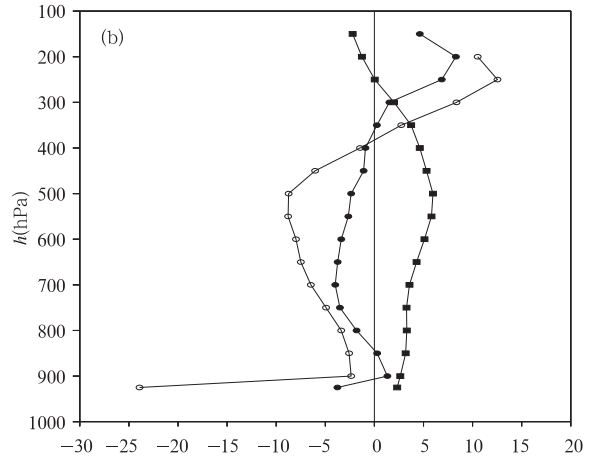
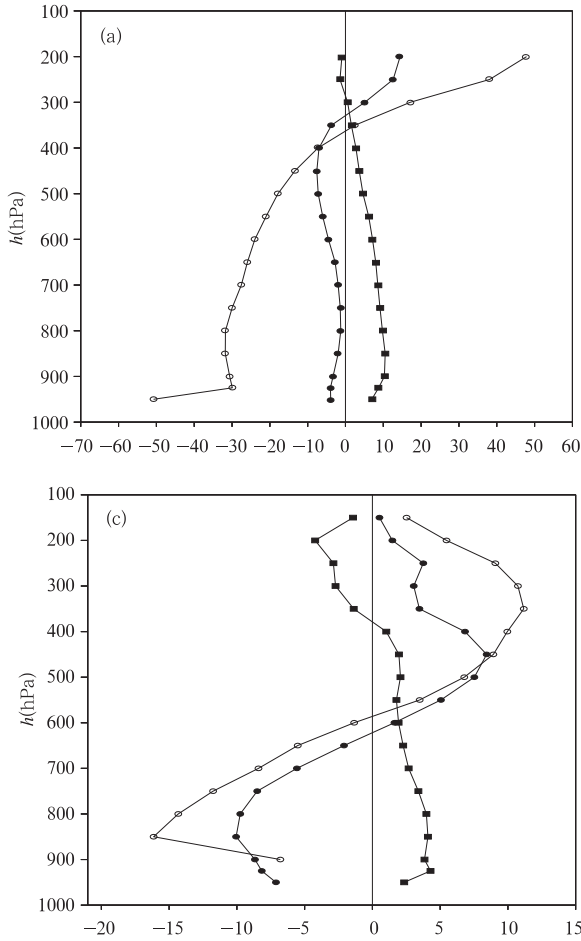


图 6 8 月 31 日 18 时暴雨中心(1°×1°平均) - ∇²φ(空心圆线), fζ(实心方框线) 和 ∂D/∂t (实心圆线) 的垂直廓线

(a. 暴雨 A, b. 暴雨 B, c. 暴雨 C; 单位: 10⁻⁹ s⁻²)

Fig. 6 Vertical profiles of - ∇²φ, fζ and ∂D/∂t, over rainstorm centers(average for 1°×1° area) at 18:00 UTC 31 Aug (a. rainstorm A, b. rainstorm B, c. rainstorm C; unit: 10⁻⁹ s⁻², open circle lines show - ∇²φ, closed circle lines show

∂D/∂t, closed square lines show fζ)

解释。本文假定

$$\omega' = \omega - \omega_g \quad (3)$$

式中 ω' 是非地转垂直速度, 可以反映非地转作用的大小; ω 是完全垂直速度; ω_g 则是准地转垂直速度。准地转 Q 矢量表达式为

$$\mathbf{Q} = (Q_x, Q_y) =$$

$$\left[-\frac{\partial \mathbf{V}_g}{\partial x} \cdot \nabla \left(-\frac{\partial \phi}{\partial p} \right), \frac{\partial \mathbf{V}_g}{\partial y} \cdot \nabla \left(-\frac{\partial \phi}{\partial p} \right) \right] \quad (4)$$

利用模式输出结果对准地转 Q 矢量表示强迫项的 ω 方程进行求解得到 ω_g, 模式方程本身输出的

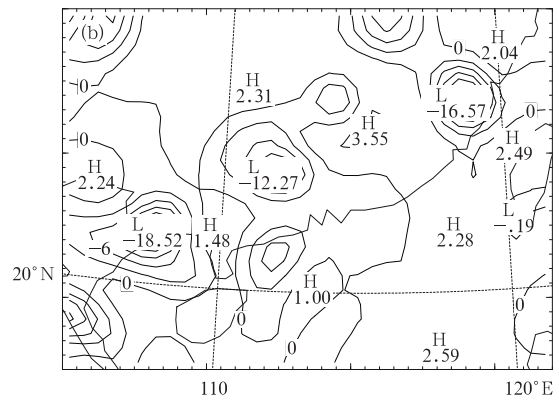
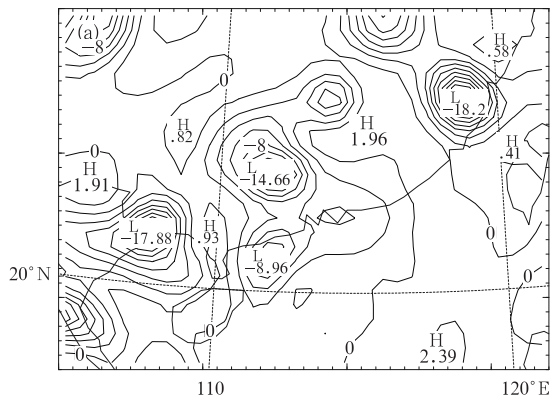


图 7 8 月 31 日 18 时 700 hPa 的垂直速度(a. 完全, b. 非地转; 单位: dagpm/s, 等值线间隔 3 dagpm/s)

Fig. 7 700 hPa vertical velocity at 18:00 UTC 31 Aug (a. entirety, b. ageostrophic; unit: dagpm/s, interval: 3 dagpm/s)

垂直速度作为完全 ω , 显然可以求得 ω' 。比较图 7a 和图 4 可以发现, 700 hPa 完全 ω 的分布对暴雨预报有非常强的指示意义, 不仅强上升运动中心与 3 个暴雨区十分吻合, 而且上升运动的强弱与后 3 h 降水量的大小也有好的对应关系, 即上升运动越强, 降水量也越大。比较图 7a 和 7b 可以看出, ω_g 只是一个很小的量, 而 ω' 在完全 ω 中是主要的, 这表明非地转作用是暴雨中尺度系统上升运动发展的触发机制。另一方面也从动力学角度解释了用非地转 Q 矢量散度场来判断暴雨落区要比用准地转 Q 矢量散度场好的原因。

4.3 敏感性试验

一般认为大尺度运动满足地转平衡的关系, 为了讨论准地转运动在 Fitow 暴雨过程中的作用, 我们对模式积分的初始场做了 500 km 波长响应的中尺度滤波, 只保留大尺度的信息, 积分相同的时间做敏感性试验。图 8 是敏感性试验减去控制试验的 24 h 模拟降水量, 比较图 8 和图 1b 可以发现, 在 A, B 和 C 3 个暴雨区, 大尺度系统模拟的降水量都明显偏少, 完全不能反映暴雨本身的中尺度特征。从散度收支和来看(图略), 敏感性试验中的结果都要

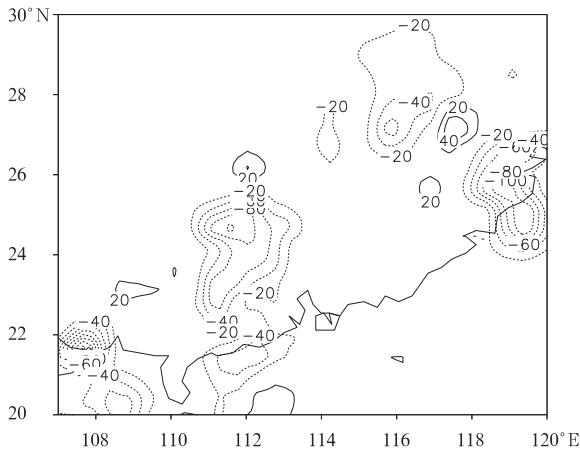


图 8 敏感性试验减去控制试验的 24 h 模拟降水量
(单位: mm, 等值线间隔 20)

Fig. 8 Difference of 24 h precipitation between sensitivity experimentation and control experimentation (unit: mm, interval: 20)

比控制试验小 1~2 个量级。这从另一个角度说明非地转作用对暴雨中尺度散度场的形成和上升运动的发展是至关重要的。

5 结 论

本文利用非静力中尺度模式 MM5 对 Fitow (0114) 登陆过程的暴雨天气进行了 48 h 模拟, 着重讨论了暴雨区中的非地转作用。

(1) MM5 对 Fitow 登陆过程中暴雨落区和强度的模拟与实况比较一致。模拟结果较好地再现了暴雨的中尺度特征。正是维持少动的台风倒槽和嵌入其中的中小尺度系统相互作用造成了暴雨的发生、发展。高低空散度场的配置和散度变化与暴雨落区有较好的对应关系。

(2) 在华南台风暴雨区, 无论是高层还是低层都存在很强的非地转作用。非地转涡度项对散度倾向项是重要的强迫因素; 在形成低层辐合、高空辐散这样有利于暴雨发生的中尺度散度场配置的过程中, 非地转涡度项有重要的贡献。但非地转作用的实现与中高纬度地区有根本的区别。在低层非地转作用是由于强的位势场气旋涡度 ($-\nabla^2\phi < 0$) 与弱的流场气旋涡度 ($f\zeta > 0$) 不平衡产生的; 而在高层非地转作用是由于强的位势场反气旋涡度 ($-\nabla^2\phi > 0$) 与弱的流场反气旋涡度 ($f\zeta < 0$) 不平衡产生的。

(3) 非地转作用是暴雨中尺度系统上升运动发展的触发机制。从动力学角度解释了用非地转 Q 矢量散度场来判断暴雨落区要比用准地转 Q 矢量散度场好的原因。

台风是华南后汛期降水最重要的天气系统, 但同样在台风背景下, 暴雨的成因和机制仍十分复杂。非地转风的产生与暴雨的发生存在密切的关系, 当平流变化与调整变化不能保持平衡时, 两者可能出现正反馈的相互作用。其复杂的因果关系还需要进一步的研究。

参考文献

- [1] 赵瑞星, 陶诗言. 梅雨锋暴雨的不平衡场. 应用气象学报, 1992, 3(1): 108~113
Zhao Ruixing, Tao Shiyan. The imbalance field of the heavy rainfall in the Meiyu front[J]. Journal of Applied Meteorology(in Chinese), 1992, 3(1): 108-113
- [2] 王淑静, 周黎明, 陈高峰. 解释台风暴雨落区判据的探讨. 应用气象学报, 1997, 8(2): 167~174
Wang Shujing, Zhou Liming, Chen Gaofeng. A study of the criterion for interpreting typhoon heavy rain location [J]. Journal of Applied Meteorology(in Chinese), 1997, 8(2): 167-174

- [3] 岳彩军, 寿绍文, 董美莹. 定量分析几种矢量. 应用气象学报, 2003, 14(1): 39~48
Yue Caijun, Shou Shaowen, Dong Meiyong. Quantitative analysis of several Q vectors[J]. Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 2003, 14(1): 39~48
- [4] 孟智勇, 徐祥德, 陈联寿. 9406 号台风与中纬度环流系统相互作用的中尺度特征. 气象学报, 2002, 60(1): 31~39
Meng Zhiyong, Xu Xiangde, Chen Lianshou. Mesoscale characteristics of the interaction Between TC TIM(9406) and Mid-latitude circulation [J], Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 2002, 60(1): 31~39
- [5] 冯伍虎, 程麟生, 程明虎. "96. 8" 特大暴雨和中尺度系统发展结构的非静力数值模拟. 气象学报, 2001, 58(3): 294~307
Feng Wuhu, Cheng Linsheng, Cheng Minghu. Nonhydrostatic numerical simulation for the "96. 8" extraordinary heavy rainfall and the developing structure of mesoscale system[J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 2001, 58(3): 294~307
- [6] Maddox R A. An objective technique for separating macroscale and mesoscale features in meteorological data. Mon Wea Rev, 1980, 108: 1108~1121
- [7] 江敦春, 党人庆, 朱志宏. 台风暴雨中尺度系统与结构的数值研究[J]. 热带气象学报, 1997, 13(2): 168~172.
Jiang Dunchun, Dang Renqing, Zhu Zhihong. Numerical study of mesoscale system and mesoscale structure for heavy rainfall caused by Typhoon[J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 1997, 13(2): 168~172.
- [8] 孙淑清. 散度变化在中尺度对流系统分析预报中之应用. 气象, 1989, 15(1): 3~8
Sun Shuqing. The application of divergence variation to analysis and forecasting of mesoscale convective systems[J]. Meteorology Monthly (in Chinese), 1989, 15(1): 3~8
- [9] Fankhauser J C. The derivation of consistent fields of wind and geopotential data. J Appl Met, 1975, 13: 637~646
- [10] 汪钟兴, 孙淑清. 暴雨系统中环境涡度场与散度场之间相互关系. 气象学报, 1988, 46(4): 492~495
Wang Zhongxing, Sun Shuqing. The relationship between environmental vorticity and divergence field associated with heavy rain systems. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 1988, 46(4): 492~495
- [11] 刘春霖. 产生强暴雨的一种风压场. 大气科学, 1983, 7(2): 201~209
Liu Chunlin. A type of wind-pressure producing heavy rain [J]. Scientia Atmospherica Sinica (in Chinese), 1983, 7(2): 201~209

THE EFFECT OF AGEOSTROPHIC FORCING ON TYPHOON FITOW(0114) HEAVY RAIN

Li Jiangnan

(Department of Atmospheric Sciences, Research Center of Monsoon and Environment, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

Yan Jinghua

(Guangzhou Institute of Tropical and Oceanic of Meteorology, Guangzhou 510080)

Wei Xiaolin Wu Chisheng

(Department of Atmospheric Sciences, Research Center of Monsoon and Environment, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

Hao I~pan

(Macao Geophysical and Meteorological Bureau, Macao)

Wang Anyu

(Department of Atmospheric Sciences, Research Center of Monsoon and Environment, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

Abstract

With PSU/NCAR nonhydrostatic mesoscale model MM5, the rainfall process of typhoon Fitow(0114) is simulated during 00UTC31 August—00UTC2 September 2001, Analyses on the model results show that MM5 model well reproduced the position and intensity of heavy rain. Mesoscale characters of heavy rain were quite distinct in rainfall time scale, rainfall area, stream field and divergence at lower and upper

levels. the interaction between inverted Typhoon trough and these mesoscale systems leads to heavy rain happening. The distribution of divergence fields at lower and upper levels can have a kind of indication meaning for the heavy rain. The ageostrophic effect on heavy rain area were very strong at lower and upper levels. The ageostrophic vorticity forcing was an important factor for divergence tendency. The achieving of the ageostrophic effect on heavy rain in South China is distinct from the mid-high latitude area, The ageostrophic effect at lower levels was caused by the unbalance between strong geopotential field cyclonic vorticity($-\nabla^2\phi < 0$) and weak stream field cyclonic vorticity($f\zeta > 0$), The ageostrophic effect at upper levels was caused by the unbalance between strong geopotential field anticyclonic vorticity($-\nabla^2\phi > 0$) and weak stream field anticyclonic vorticity($f\zeta < 0$). The ageostrophic effect was trigger mechanism for ascending motion development in heavy rain mesoscale system. The cause that ageostrophic \mathbf{Q} vector are better than quasi-geostrophic \mathbf{Q} vector divergence fields responding to the rainfall area was represented dynamically.

Key words: Typhoon in South China, Heavy rain, The ageostrophic forcing.

《气象学报》英文版编辑出版单位变更启事

自 2005 年起,《气象学报》英文版由中国气象学会《气象学报》期刊社负责编辑出版,敬请广大气象同仁一如既往,关心和支持《气象学报》英文版,为《气象学报》迈上新台阶共同努力!

联系电话: 010-68407634

E-mail: cmsams@163.com

《气象学报》英文版编辑部