

华南春季强风暴背景流场的若干特征

贺海晏

(中山大学大气科学系, 广州 510275)

提 要

本文利用常规探测资料, 分析了1983年3月25日发生在珠江三角洲地区的一次强对流天气过程背景流场的几个重要特征, 如高空急流的结构与变化、辐散风场及与之相联系的背景次级环流、风场垂直切变和水平切变等。

关键词: 局地强风暴; 背景流场; 急流。

一、引 言

80年代初以来, 珠江三角洲地区的局地强风暴天气(飑线、冰雹、龙卷及雷雨大风等)异乎寻常地活跃起来。灾害性的重大过程大多出现在春季。多起历史上罕见的内河客船翻沉事故和巨额经济损失使人们感到震惊。在此之前, 人们几乎没有认识到: 除了汛期暴雨和盛夏台风之外, 局地强风暴尤其是春季强风暴也是严重危害华南及其沿海地区的灾害性天气。因而, 对此研究很少, 了解甚微。直到国家“七五”计划期间, 有组织的探测和研究才开展起来。

一般认为, 强风暴天气的直接制造者是中、小尺度天气系统。然而, 这些中小系统通常总是在一定的天气尺度环境(背景)场中孕育、发展起来, 并受其影响和制约的。因此, 关于强风暴背景场的研究对于了解这类天气的物理过程及其业务预报都是不可缺少的一个重要方面。最近, 我们利用简单的理论模式较系统地研究了非均匀介质(背景)对惯性重力内波的发展和传播的影响^[1-3]。本文则是通过实例分析了解背景流场的某些特征, 其中部分内容亦是上述理论研究的延续和补充。

二、形势与天气概况

1983年3月25日08时至20时之间, 珠江三角洲及其附近地区出现了一次强对流天气(飑、雹和雷雨大风等)过程。图1是这次过程的天气形势和天气落区综合概要图。阴影区为强对流天气落区, 确定为天气区的网格($1^\circ \times 1^\circ$ 经纬度)中至少有一个测站出现了上述一种或多种强对流天气现象。

在预报实践中, 预报员通常比较注重低层切变线尤其是锋面的活动。在这次强对流天气发生前夕3月25日08时, 850hPa上一条东西走向的切变线位于 $23-24^\circ\text{N}$ 之

间,但由于锋面已南移出海,低层冷空气的强迫作用似乎已明显减弱了.如果只注意到低层的这些情况,按预报员的一般经验,很难断定未来是否会有强对流天气发生.但是,如果进一步仔细分析对流层高空流场特别是急流活动的特征,则可从中获得有助于认识这次过程的一些重要信息.在 200hPa 上,有一个高空槽从青藏高原东移过来并有所加强,槽前的西南偏西风急流轴随之向东南方移动.25 日 08 时,珠江三角洲正好处在这支急流入口区右侧.后面我们将会看到,高空急流入口区的辐散抽吸作用以及与之相联系的次级垂直环流的发展与这次强对流天气过程的发生发展有着密切关系.

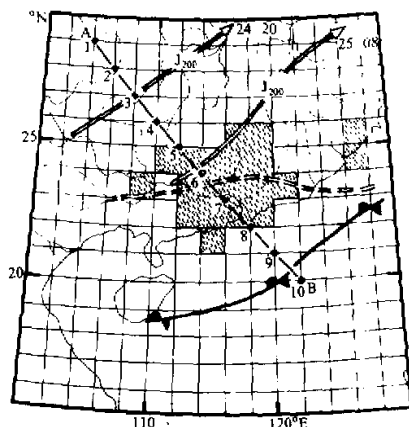


图1 3月25日08时天气形势概况
双虚线为 850 hPa 切变线, 双实箭头为 200hPa
急流(24 日 20 时 200hPa 急流位置也同时给出,
以便参考).

三、流场的空间结构及其变化

无论是多年平均的气候图^[4]还是逐日

实时天气图都表明:在春季,华南大陆及其附近海域上空,700hPa 以上对流层各层都是比较一致的西南偏西风(以后简记为 WSW).高空急流位于 200—300hPa 层.850hPa 以下的情况则明显不同,各层风速较小,风向亦不稳定,变化较大;这一层受下垫面影响大,属于行星边界层.因此,春季华南上空对流层风场可大致划分为两个垂直分层,即 850hPa 以下的行星边界层和 700hPa 以上深厚的 WSW 层.本文将着重讨论上层流场的特征.

为了更清楚地表现流场的垂直结构及其变化,取 x 轴指向东北偏东方向(与正东方向成 30 度夹角),即大致与高空盛行风向一致.将水平风速矢分解为与 x 轴平行的分量(u)和垂直(指向其左侧)分量(v),则 u 分量代表 WSW 风(若 $u > 0$)或东北偏东风(若 $u < 0$).图 2 给出的是 24 日 08 时至 25 日 20 时的 u 分量垂直剖面图,剖面位置如图 1 中 A、B 间的连线所示,大致与 WSW 急流轴垂直,并从强对流天气区中央穿过.图中可以清楚地看见一支强劲的 WSW 风从对流层顶附近向下一直伸展到 700hPa 附近.急流中心位于 200—300hPa 之间.尽管各高度上的最大风速中心连线(虚线)随高度有不同程度的倾斜,即在不同高度的水平面上所看到的 WSW 急流中心位置不相重合,但是,从整体上看,它们显然属于同一个风系,而不是彼此独立的急流中心.

这支高空急流随时间逐渐向东南方向移动.24 日 08 时,主要的急流中心位于 30°N 以北;到 25 日 08 时,中心风速大于 64 m/s 的急流中心移到梧州北侧,这时,强对流天气开始发生,天气落区主要位于高空急流中心右侧;这支急流维持到 25 日 20 时,往后移出所考虑的区域,此次天气过程随之结束.

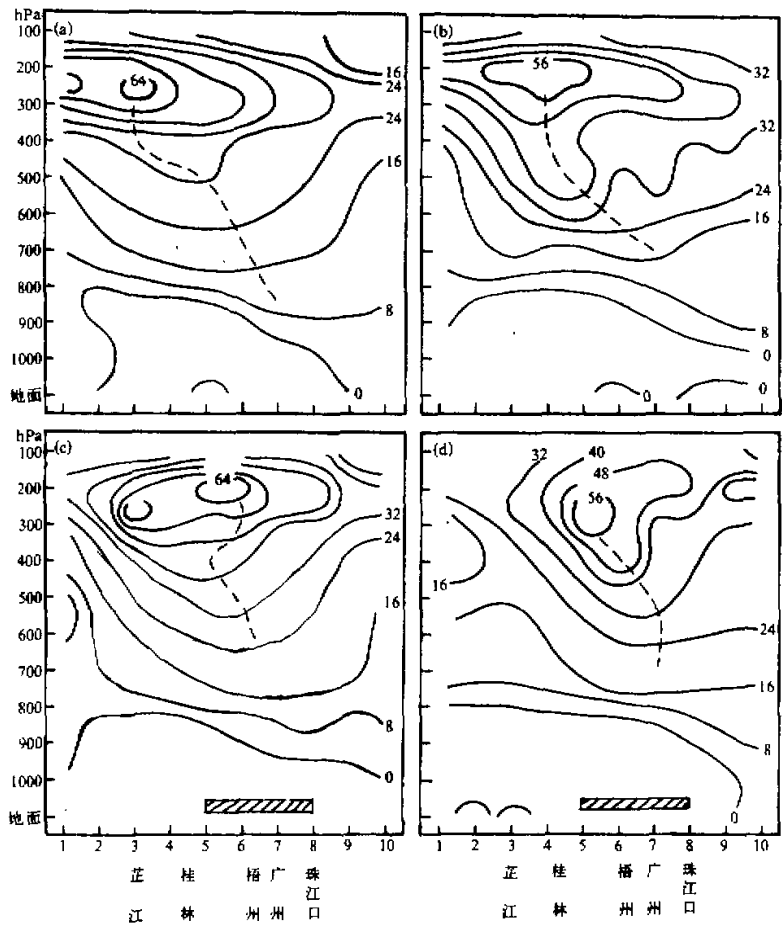


图2 u 分量垂直剖面图

风速单位为 m/s ；等风速线间隔为 8m/s ；水平横坐标为图 1 中 AB 连线上的格点序号；条形阴影区表示强对流天气落区。
a: 24 日 08 时, b: 24 日 20 时,
c: 25 日 08 时, d: 25 日 20 时。

图 3 是 3 月 25 日 08 时 200hPa 的等风速线图。由图可见，未来的强对流天气落区（阴影区）主要位于 700 hPa 急流（虚线箭头）下风（出口）方向、200hPa 急流（实线箭头）入口区右侧。25 日 20 时，700hPa 急流明显东移，但 200hPa 急流位置变化不大（图略）。高空急流与强对流天气落区的这种配置关系在珠江三角洲春季的强风暴天气过程中具有相当的代表性。如文献 [2] 中所给的 1983 年 3 月 1 日个例的情况也类似。由于急流本身的非地转特征，在高空急流入口区通常有较强的水平辐散，这种高层辐散的“抽吸”效应在下节将要讨论的垂直次级环流中有重要意义。

四、辐散风场和背景次级环流

利用 Endlich^[5] 的逐次叠代方法，不必求解泊松方程就能直接将水平风场分解为辐散部分和旋转部分。最近，我们研究了华南春季强对流天气过程背景场的辐散风和旋转风动能的收支¹⁾，结果表明，尽管辐散风动能在总动能中所占比重很小，但是，其变化特征与强对流天气过程却有更为密切的联系。本节将集中讨论辐散风场的特征，尤其是与之相联系的背景次级环流。

图 4 是 1983 年 3 月 25 日 08 时 200hPa (a) 和 700hPa (b) 的辐散风场。箭

头方向与辐散风方向一致，箭头的长短正比于风速的大小。在 200hPa 上，有三个明显的辐散中心 (D_1 , D_2 和 D_3)，其中， D_1 和 D_2 处在 200hPa 急流入口区， D_3 位于急流中心东南侧。相应，700hPa 上亦有三个辐合中心 (C_1 , C_2 和 C_3)，大体上与高层辐散中心对应。连接这些辐合中心的一条近于东西向的辐合带位于 21—25°N 之间，穿过强对流天气区。可见，强对流天气区处在低层辐合与高层辐散相耦合的区域。值得指出的是，辐散风场的上述特征在总风场中完全被掩盖掉了，在日常天气图上几乎不能直观地分辨出来。这主要是因为辐散风分量数值较小的缘故。因此，从总风场中将辐散风分离出来，可为业务预报提供更多有重要参考价值的信息。

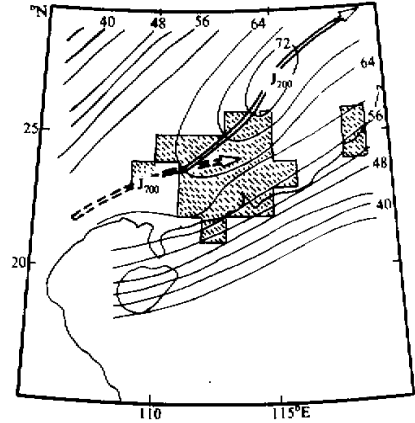


图 3 3月25日08时200hPa等风速线(m/s)、急流位置与天气落区

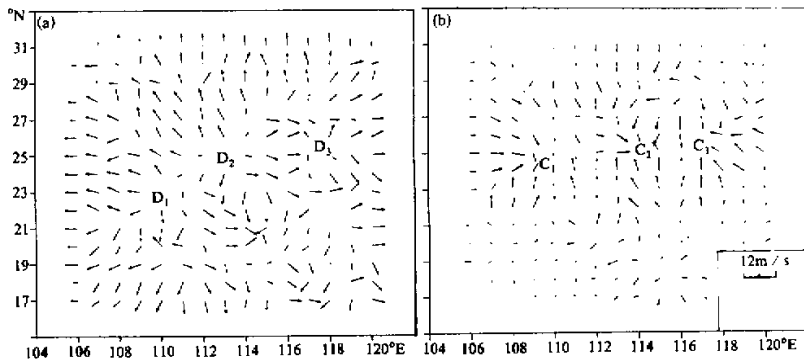


图 4 3月25日08时200hPa (a)和700hPa (b)的辐散风场

C_i 和 D_i 分别表示辐合与辐散中心；箭头长度正比于风速大小

1) 贺海晏等，华南春季强对流天气过程的动能收支，II. 辐散风和旋转风动能收支和能量转换，热带气象待刊。

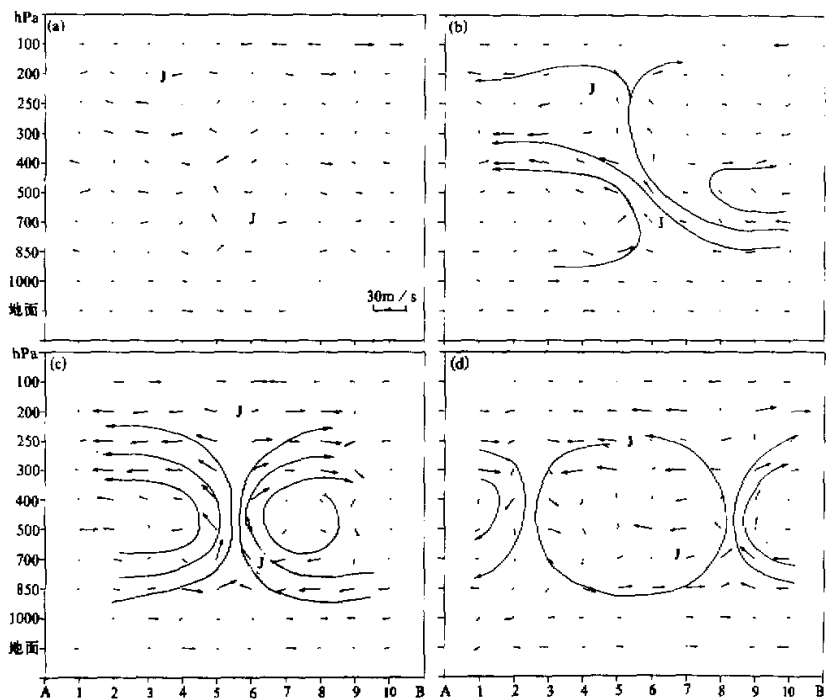


图 5 垂直次级环流
箭头长度正比于流速大小。
(a) 24 日 08 时、(b) 24 日 20 时、
(c) 25 日 08 时、(d) 25 日 20 时。

图 5 是用辐散风场与垂直运动场合成的垂直环流图。垂直剖面的位置如图 1 中 AB 所示。垂直运动 W 是用运动学方法(积分 p 坐标系中的连续方程)计算的, 图中放大了 一百倍; 辐散风分量在图中也放大了两倍半。这里给出的垂直环流中, 已经完全去掉了 流场的旋转部分, 我们称这种深厚的 WSW 背景流场上的低层辐合上升、高层辐散的 垂直环流为背景次级环流。从图 5 可以清楚地看到这种次级环流从无到有的发展、加强 与减弱的演变过程。24 日 08 时(a), 高、低层辐散风场与垂直运动都较微弱, 基本上 看不出明显的次级环流。到 24 日 20 时(b), 次级环流开始建立, 虽然强度尚较弱, 但 高层辐散、低层辐合上升的结构已初步形成, 清晰可辨。25 日 08 时(c), 该次级环流 进一步发展, 明显增强; 高、低层辐散、辐合中心近于重合, 整个垂直环流结构完整, 强度达到最强。这时正是强对流天气开始发生的时候。到 25 日 20 时(d), 次级环流的 上升支明显地往东南方移到了 700hPa 急流轴以南, 珠江口沿海附近; 次级环流的结构 仍较完整, 但强度明显减弱了。由此看来, 高空急流入口区的垂直次级环流的发生、发 展与强对流天气过程的发生、发展有着十分密切的关系。这种次级环流在强对流天气出 现前就已开始发展, 这表明, 其成因主要是由背景流场本身的非地转特征所决定的。

而不是强对流运动的结果. 这种次级环流在强对流天气的形成过程中可能起着重要的组织与控制作用. 这也说明了高空急流的动力作用对强对流天气过程的重要性.

五、垂直切变与惯性稳定度

我们最近研究了非均匀层结和带状切变流对惯性重力波的折射作用^[3], 定义了一个环境稳定度矢量 $\vec{E}$:

$$\vec{E} \equiv \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3, \quad (1)$$

其中

$$\vec{E}_1 \equiv \delta^2 \nabla N^2, \quad (2)$$

$$\vec{E}_2 \equiv f \nabla \bar{\zeta}_a, \quad (3)$$

$$\vec{E}_3 \equiv 2f \delta \nabla \bar{U}_z, \quad (4)$$

$$\nabla \equiv \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z}, \quad (5)$$

$\delta \equiv l/m$ 为重力波的垂直波长与水平波长之比, l 和 m 分别为水平和垂直波数; N 为 Brunt-Väisälä 频率, 它表征层结流体的静力稳定 ($N^2 > 0$) 或不稳定 ($N^2 < 0$) 性; $\bar{\zeta}_a$ 为背景流场的绝对涡度, 表征水平切变流场的惯性稳定 (北半球, $\bar{\zeta}_a > 0$) 或惯性不稳定 ($\bar{\zeta}_a < 0$) 性; $\bar{U}_z$ 为背景流场的垂直切变, 是一个与流场斜压稳定性有关的参数; f 为科里奥利参数. 理论分析表明, 重力波的局地波导与矢量场 $\vec{E}$ 垂直 (或与环境稳定度等值线平行). 从 $\vec{E}$ 的定义可见, 它除了取决于重力波本身的结构外, 完全由 N^2 、 $\bar{\zeta}_a$ 和 $\bar{U}_z$ 等参数的空间梯度所决定. 这说明上述参数空间分布的非均匀性对于重力波波能传播具有关键性的意义.

根据上述理论分析结果的启示, 在文献 [3] 中, 我们分析过层结水平分布的实例. 这里, 我们就本例的情形, 给出垂直风切变和绝对涡度的类似分析. 这些分析不能算是 $\vec{E}$ 场的严格分析, 而只是单要素的近似分析. 图 6 是 1983 年 3 月 25 日 08 时 (a) 和 20 时 (b) 200hPa 与 700hPa 层的风速差 ΔV 的水平分布图. ΔV 近似地相当于 (4) 式中的 $\bar{U}_z$, 即风速的垂直切变. 由图可见, 强对流天气落区既不在风速垂直切变最大中心附近, 也不在其最小值中心附近, 而是处在大值中心与小值中心之间的过渡区、垂直切变相对适中的地带. 这表明, 强对流天气与风的垂直切变之间的关系不是简单的线性关系, 即并不是风的垂直切变越大 (或越小) 就越有利于强对流天气.

利用格点化资料可计算出背景绝对涡度 $\bar{\zeta}_a (\equiv f + \partial v / \partial x - \partial u / \partial y)$. 图 7 给出的是 1983 年 3 月 24 日 08 时至 25 日 20 时 200hPa — 700hPa 的平均绝对涡度水平分布. 阴影区为 $\bar{\zeta}_a$ 小于 $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的区域. 由图可见, 24 日 $\bar{\zeta}_a$ 的分布比较零乱, 缺乏有组织的结构. 在 25 日 08 时和 20 时的图上则可看到 $\bar{\zeta}_a$ 比较有组织的结构, $\bar{\zeta}_a$ 的大值区基本上位于天气落区 (粗实线所围的区域) 西北面; 而 $\bar{\zeta}_a$ 的小值区 (含 $\bar{\zeta}_a < 0$ 的不稳定区) 则大致呈东北 — 西南的带状走向, 位于天气区东南面. 可见, 从 $\bar{\zeta}_a$ 的空间分布与强对流天气落区的配置关系看, 与前面讨论过的垂直风切变的情形有类似的特征. 即强

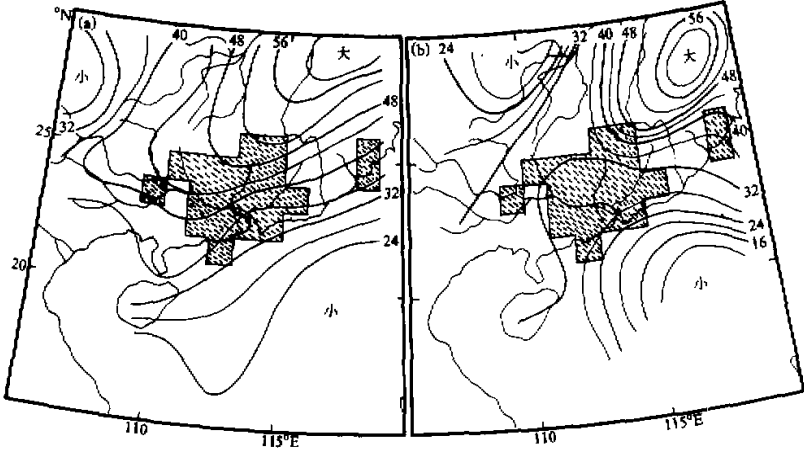


图 6 3 月 25 日 08 时 (a) 和 20 时 (b) 200 hPa — 700 hPa 风速差 ΔV 的水平分布 (m/s)

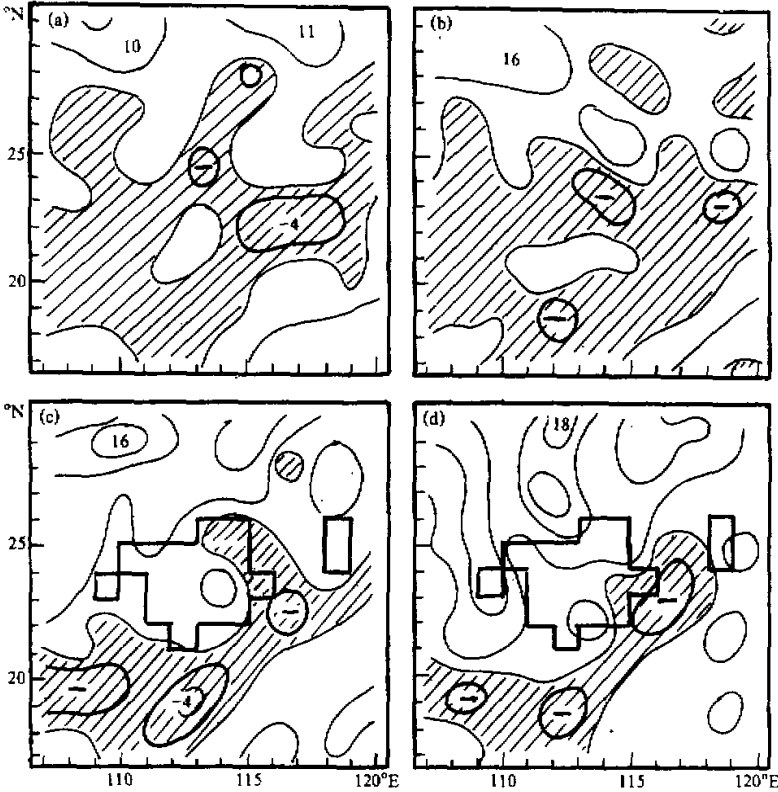


图 7 200 hPa — 700 hPa 层的平均 $\overline{\Delta V}$ ($10^{-5} s^{-1}$)
(a) 24 日 08 时, (b) 24 日 20 时, (c) 25 日 08 时, (d) 25 日 20 时。

对流天气落区位于 $\bar{\zeta}_0$ 的大值和小值区之间的过渡地带。上述观测特征与关于非均匀介质中重力波的折射理论分析所得到的结果定性上是吻合的。

六、小结与讨论

过去二十年来的观测事实表明, 珠江三角洲的灾害性局地强风暴天主要发生在春季, 其中大部分受高空西风槽的影响。本文分析讨论了一次春季强对流天气过程背景流场的一些特征, 重点分析了高空 WSW 急流及与之相联的辐散风场、背景次级环流、垂直切变和惯性稳定度的时空变化。结果表明, 这一类华南春季的局地强风暴天气过程与高空槽前 WSW 急流的活动有非常密切的关系。强对流天气主要出现在高空急流入口区右侧, 这里正是有利于低层辐合上升、高层辐散的次级垂直环流发展的地区。这种次级环流本身的发展与流场尤其是急流的动力学(非地转)特性有关, 它在诱发和组织强对流活动中可能是必不可少的背景条件。此外, 强对流天气落区与 ΔV 及 $\bar{\zeta}_0$ 等参数的空间分布配置关系表明, 并不是流场切变(垂直的或水平的)越大(或越小)就越有利于强对流天气发生。

我们在这里强调高空流场的动力作用, 是为了引起人们尤其是业务预报人员对这方面的注意, 而不是否定其他因素(例如低层流场)的作用。至少, 高层流场的动力作用需要有低层流场及其他因素的适当耦合。这正是需要进一步深入研究的问题。

参 考 文 献

- [1] 贺海晏, 1989, 非均匀层结大气中的重力惯性波及其激发对流的物理机制, 热带气象, 5(1), 8—17.
- [2] 贺海晏等, 1990, 切变流场中惯性重力内波的发展, 热带气象, 6(3), 203—209.
- [3] 贺海晏, 1991, 大气中惯性重力波的传播, 热带气象, 7(1), 1—7.
- [4] Krishnamurti, J. N., 1983, Interannual Variability of the tropical Motion Field, FSU Report No. 83-3.
- [5] Edlich, R. M., 1971, Direct Separation of Two-Dimensional Vector Fields into Irrotational and Solenoidal Parts, *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 33, 328—334.

Some Aspects of the Environmental Wind Fields of A Severe Storm in Spring over South China

He Haiyan

(Department of Atmospheric Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

Abstract

This is a case study of the environmental wind fields in a local severe convective storm occurred on 25 March 1983 in the Zhujiang River delta area of South China. Some aspects of the wind fields such as structures and variations of the upper tropospheric WSW jets, divergent wind fields and the related vertical secondary circulations, and the vertical and horizontal wind shear etc. were examined in relation to the severe convective weather process with operational observations.

Key words: Local severe storm; Environmental wind field; Jet stream.