

海上快速发展气旋的动力诊断分析*

张永刚 张磊

(海军大连舰艇学院, 大连 116018)

吕美仲 欧阳子济

(空军气象学院, 南京 211101)

提 要

应用等熵位涡收支方程对发生于西北太平洋日本东海附近的爆发性气旋进行了位涡及位涡收支诊断分析. 发现爆发性气旋不同于普通气旋发展机制, 主要是由于平流层底位涡异常对对流层扰动产生较集中凝结加热, 使上下系统耦合打通的结果. 从位涡收支来看, 气旋爆发性发展伴随着对流层顶上空有强的涡度平流作用, 而对流层中层存在着较集中的大尺度凝结结构和对流天气系统.

关键词: 位涡 等熵位涡方程 爆发性快速发展气旋 诊断分析

引 言

随着人类开发海洋和利用海洋能源进行海上作业的日益增加, 特别是航海、海洋油气田勘探的需要, 必须对海上天气系统有所了解. 对于西北太平洋来说, 台风是夏秋时节发生频率及危害最大的天气系统. 而对于冬季来说, 海上快速发展的爆发性气旋因其发展迅速, 强度大, 往往伴随着狂风和巨浪等恶劣天气, 给海上作业带来极大危害.

关于爆发性气旋的研究, 最早是由 Sanders(1980)^[1]给出定义. 其后人们对发生于不同海区、不同类型的爆发性气旋, 给予了极大的重视和研究. 关于爆发性气旋发展机制的研究大体上可分两类: 一类是以潜热加热为主的次天气尺度动力发展机制, 这方面研究的有 Authes(1983)^[2], 李长青(1989)^[3], 赵其庚(1994)^[4]. 另一类是由 Bleck(1974)^[5], Uccellini(1986)^[6], Hoskins(1985)等人^[7]强调以上空对流层顶折叠, 急流动量下传为主要动力机制形成的爆发性气旋.

本文通过位涡和等熵位涡收支方程诊断分析, 指出: 爆发性气旋的快速发展, 是由于对流层异常增强的位涡环流下旋扰动移至对流层中层斜压带上形成的, 其表现为大量上层较冷空气和动量下传, 使地面斜压增强, 辐合增大, 并且由于上层较冷空气下传后, 其饱和水汽压相对较低, 致使对流层中下层的潜热加热增大, 当对流层顶闭合涡旋移至低空斜压带气旋之上时, 上下耦合打通就形成了近似轴对称的爆发性气旋.

* 中国博士后基金(中博基(1996)4号)资助.
1998-11-05 收到, 1999-03-24 收到修改稿.

1 资料

本文选用的天气尺度爆发性气旋发生在北太平洋西部洋面上(1979年4月29日12:00~5月1日12:00 GMT, 下同). 其在4月30日00:00中心气压为1004 hPa, 经过24 h于5月1日00:00中心气压降为972 hPa, 36 h内平均降压率为1.8 贝吉龙. 气旋移动路径是自东中国海向东北方向移动, 有高空槽与气旋相伴随, 高空有急流, 此爆发性气旋处于急流出口左侧, 在低空有较强的西南气流, 斜压带较强.

本文采用了 FGGE 3B 资料, 经纬格距为 1.875, 并用拉格朗日插值法将原资料内插成间隔 50 hPa 共 20 层.

2 等熵位涡收支方程及其对快速发展气旋的诊断分析

$$\text{等熵位涡: } P = -g(f + \bar{k} \cdot \nabla_{\theta} \times \bar{v}) / (\frac{\partial p}{\partial \theta}) \quad (1)$$

其中 ∇_{θ} 是三维算子

$$\text{则位涡方程: } \frac{dP}{dt} = (\frac{1}{p}) \bar{\xi}_a \cdot \nabla \dot{\theta} + (\frac{1}{p}) \bar{k} \cdot \nabla \theta \quad (2)$$

其中 \bar{k} 为摩擦力, $\dot{\theta}$ 为非绝热位温源.

采用

$$\frac{d}{dt} \iiint_{\tau} P_p d\tau = \iint_s (\dot{\theta} \bar{\xi}_a + \theta \bar{k}) \cdot \bar{n} ds \quad (3)$$

对于小的 Rossby 数和大的 Richardson 数而言, 则

$$\frac{dP}{dt} \approx (\frac{1}{p}) \bar{k} \cdot \bar{\xi}_a (\frac{\partial \dot{\theta}}{\partial z}) + (\frac{1}{p}) \bar{k} \cdot \bar{k} (\frac{\partial \theta}{\partial z}) \quad (4)$$

$$\frac{dP}{dt} = -\sigma^{-1} \{ (f \bar{k} + \nabla_{\theta} \times \bar{v}) \cdot \nabla \dot{\theta} + k_{\theta} \} \quad (5)$$

则等熵位涡收支方程为:

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t} P}_{F_1} + \underbrace{\bar{v} \cdot \nabla_{\theta} P}_{F_2} + \underbrace{\dot{\theta} \frac{\partial}{\partial \theta} P}_{F_3} = - \underbrace{P \cdot \frac{\partial \dot{\theta}}{\partial \theta}}_{F_4} + \underbrace{k_{\theta} \cdot \sigma^{-1}}_{F_R} \quad (6)$$

方程(6)中 F_1 项为等熵位涡局地变化项, F_2 项为等熵位涡平流项, F_3 和 F_4 都是与潜热加热有关的位熵对流项和对流对位涡输送项. 这个方程是由 Hoskins(1985)推导的, 这里只用其做收支诊断. 用此方程对4月30日爆发性气旋发展进行诊断, 如图1为300 K各项水平分布图. 其中 F_R 为小项可略.

从图1a中可以看出等熵位涡局地变化项 F_1 为小项, 并且表现为较大范围分布. 而图1b为等熵位涡平流项 F_2 水平分布图, 图中呈现着一对偶极子分布状. 而且强度较大并较集中, 这反应气旋是呈中小尺度强迫发展的, 上升支暖空气与下沉支冷空气呈偶极子状,

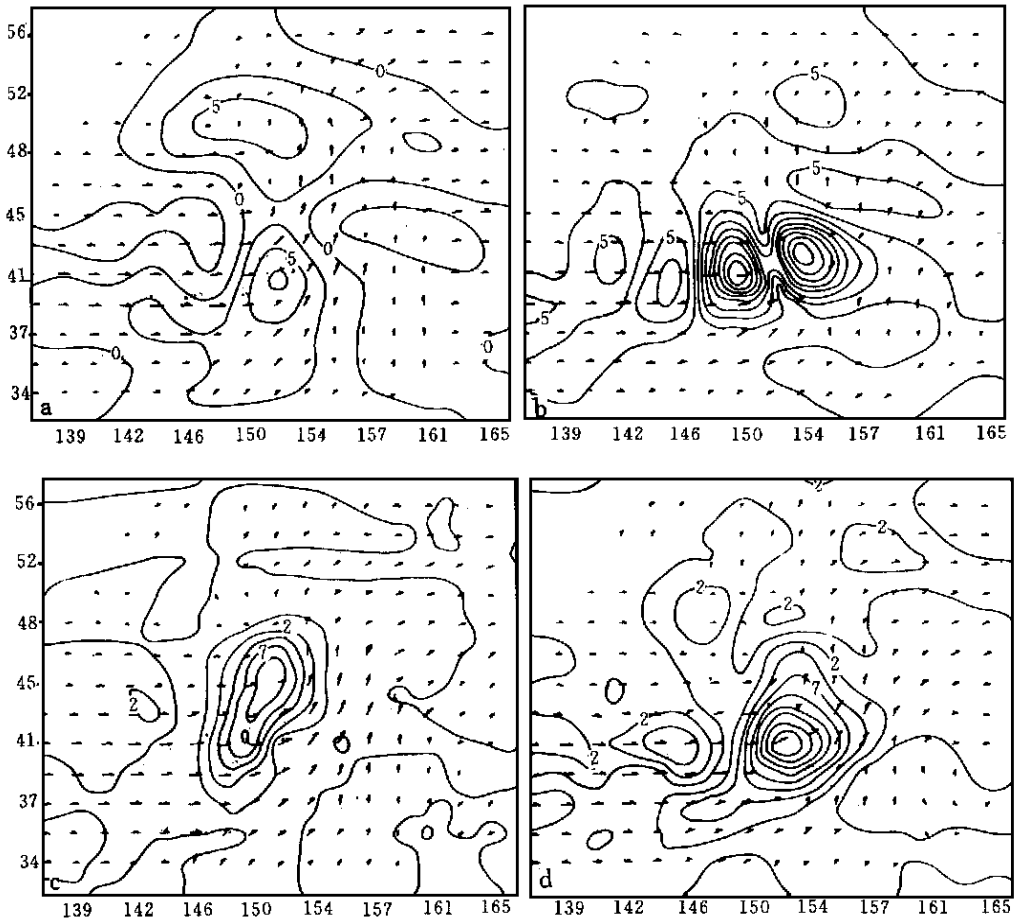


图1 等熵位涡方程各项水平分布(a) 局地变化项(F_1), (b) 平流变化项(F_2),
(c) 对流变化项(F_3), (d) 加热输送位涡平流项(单位: 0.2×10^{-9})

锋面可以认为是垂直结构. 图1c和图1d都呈现出气旋发展中心出现凝结加热对等熵位涡的作用.

3 结 语

- (1) 快速发展气旋之所以能够快速发展是由于对流层顶折叠下沉对地面扰动的结果.
- (2) 从等熵位涡收支诊断来看, 快速发展气旋其发展动力因子主要是由于等熵位涡平流作用产生中小尺度偶极子结构的强平流结果.
- (3) 快速发展气旋发展常伴有凝结加热等对流大气在气旋发展上空, 这种使位涡能够直接输送的过程, 才使得快速发展气旋上下打通形成较深的轴对称的气旋环流系统.

参考文献

- 1 Sanders F and Gyakum J R. Synoptic-dynamic climatology of the "bom b". *Mon. Wea. Rev.*, 1980, **108**: 1589~1606.
- 2 Anthes R A, Kuo Y H and Gyakum J R. Numerical simulations of a case of explosive marine cyclogenesis. *Mon. Wea. Rev.*, 1983, **111**: 1174~ 1188.
- 3 李长青, 丁一汇. 西北太平洋爆发性气旋的诊断分析. *气象学报*, 1989, **47**: 180~ 190.
- 4 赵其庚, 等. 一个温带海洋气旋爆发性发展的动力学分析. *海洋学报*, 1994, **16**: 30~ 37.
- 5 Bleck R. Short-range prediction in isentropic coordinates with filtered and unfiltered numerical model. *Mon. Wea. Rev.*, 1974, **102**: 813~ 829.
- 6 Uccellini L W. The possible influence of upstream upper-level baroclinic processes on the development of the QEII storm. *Mon. Wea. Rev.*, 1986, **114**: 1019~ 1027.
- 7 Hoskins B J. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1985, **111**: 877~ 946.

A DYNAMIC STUDY OF OCEAN EXPLOSIVE CYCLOGENESIS DEVELOPMENT

Zhang Yonggang Zhang Lei

(*Dalian Naval Academy, Dalian 116018*)

Lu Meizhong Ouyang Ziji

(*Force Weather Academy, Nanjing 211101*)

Abstract

A diagnostic analysis of two explosive cyclogenesis and a general cyclone over the Northwest Pacific Ocean in 1979 is made by using both potential vorticity and E-P flux. The analysis results demonstrate that explosive cyclogenesis development is caused by the concentrated condensation heating resulted from abnormal stratospheric potential vorticity and tropospheric turbulence. The main dynamic mechanism is upper-level forcing and middle-tropospheric aqueous vapor transportation, which result in large-scale convergence condensation latent heating.

Key words: Explosive cyclogenesis Potential vorticity E-P flux Diagnostic analysis