

舟山群岛一次低压大风过程的诊断分析

陈淑琴 黄 辉

(浙江省舟山市气象局, 316004)

提 要: 通过对舟山群岛一次低压大风过程的天气形势及各种物理量的诊断分析认为: 地面的倒槽波动, 加上高空的涡度平流、低层南北两支气流相遇形成的强烈的切变是地面低压能够形成并发展的关键。中低层的温度平流、降水凝结释放潜热维持上升运动, 是低压进一步发展的有利条件。高空动量下传最终形成了地面的强风。

关键词: 低压 大风 动量下传

Diagnosis of Gales Caused by Depression in Zhoushan Islands

Chen Shuqin Huang Hui

(Zhoushan Meteorological Office, Zhejiang Province 316004)

Abstract: A synoptic analysis of a gale event caused by depression in Zhoushan Islands is made. The results show that vorticity advection, thermal advection and latent heat release made great contribution to the development of the depression. It is the downward transport of momentum which makes the surface gale at last.

Key Words: downward transport of momentum depression gale

引 言

舟山群岛位于长江入海口和钱塘江入海口, 在 30°N 、 122°E 附近, 常受到低压的

影响, 产生大风。低压引起的大风是比较难以预报的。表面上看同样的低压, 有的不会产生大风, 有的可能只有 8~9 级的大风, 有的可能有 10 级以上的大风。为什么会产生不同的结果, 值得进行研究。近年来, 有

关爆发性气旋发生发展的统计分析和物理过程的研究^[1~5]认为涡度平流、温度平流、潜热加热、海气交换、磨擦作用、斜压不稳定以及与急流有关的非地转加热等物理因子对气旋爆发性发展有贡献。2005年4月9日舟山群岛受低压的影响产生了一次10级的大风过程,是比较罕见的一次大风过程,对其进行了诊断分析。

1 大气形势演变过程

在8日08时500hPa上,在贝加尔湖西面有一低压,低压下有一支高度槽,延伸到我国新疆一带,高度槽后有一支温度槽,冷空气在此聚集、南下,同时这支槽向东南方向移动。青藏高原东面四川、云南一带有南支槽,缓慢向偏东方向移动。到9日08时,北支槽已移到河套地区,温度槽仍落后于高度槽,有很强的冷平流,南北两支槽已移到同一位相,形成阶梯槽。北支槽前后风速较大,有很多站风速大于 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。南支槽前西南风也很大,浙江、江苏、安徽一带有4个高空站风速大于 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。云南、广西、广东大部分高空站风速大于 $24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。500hPa高空图的形势特点是有南北两个系统,而且两个系统都比较强,有高空急流。

08日08时850hPa上,在青藏高原东面有一低压,有暖舌与之配合。同时北面有冷空气南下,锋区逐渐南移,低压北面有较强的冷平流。由于华南大部分地区盛行西南风,有很强的暖平流,使低压上的暖舌进一步向东北方向伸展,8日20时在江苏、安徽有一暖舌,中心达 18°C ,一直延伸到黄渤海区。9日08时中西部地区锋区进一步南下,等温线聚集在长江中上游一带。而华南大部分地区的西南风进一步加强,广西、湖南、江西、安徽都出现大于 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的

风速。东部沿海的暖舌进一步向北发展,中心达 19°C 。南北两个系统在中南地区形成一个很强的切变线,从江苏一直到贵州。

8日08时地面图上,西北地区有一冷锋,逐渐东移南下。四川地区有一低压,中心最低气压为1000hPa,非常缓慢地向东移动。中南、华南地区是东高西低的形势,气压梯度比较大,舟山群岛的嵊泗站从下午14时开始一直有8级的偏南风。四川低压在逐渐加强,8日20时中心为997.5hPa。9日02时在北面冷空气的推动下,南移到贵州,但低压东面的倒槽在逐渐向北发展,在安徽又形成一低压中心。9日08时安徽的低压东移到江苏,气旋性环流进一步完整,在安徽、江苏大部分地区有降水,最大6小时降水量达41mm,这时舟山出现了 $28.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (10级)的偏南风,到了14时又出现了 $27.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (10级)的偏南风。14时北面冷空气东移南下,推动江苏的低压向东南移动。20时低压移到舟山以南地区,舟山开始受冷空气影响,转偏北风,出现8级的偏北风。舟山群岛共有27个测风站,这次过程有2个站出现了10级大风,12个站出现9级大风,13个站出现了8级大风,是一次普遍的大风过程。

这次大风的直接影响系统就是在安徽、江苏的低压,下面从各物理量进一步分析这个低压形成、发展,产生强风的原因。

2 地面气旋发生发展的成因分析

2.1 动力因子分析

从地面图上看,8日首先在四川形成了一个低压,逐渐形成倒槽波动,这个波动不断向东北方向发展,然后在安徽附近又形成了一个低压,这个低压就是产生这次大风的直接影响系统。低压的产生和发展与涡度密

切相关,文献 [6] 指出主要是高空槽前的正涡度平流促使地面气旋的发展。本次过程 500hPa 有两支槽,北支槽位于河套附近,南支槽位于青藏高原东面,脊线位于我国东部海上,从东海一直伸展到黄渤海。我国东部地区正好处于槽前脊后,有正涡度平流。而且两支槽前都有很强的风速,有多个站出现大于 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风。根据相对垂直涡度的表达式 $\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ 和涡度平流的表

达式 $-(u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y})$, 槽前的风速越大,正涡度平流也越大,高空槽前急流形成了很强的正涡度平流。8 日 12 时 500hPa 的涡度平流我国东部地区为正的,有两个正中心,一个在长江中游,一个在山东、江苏沿海,并向南伸展,对应两支高空槽。9 日 08 时 500hPa 的涡度平流仍有两个正中心(图 1),北面的正涡度平流区向南伸展,到达长三角地区。由于涡度平流的作用,500hPa 我国东部地区涡度有明显的增加。由于高空有正涡度平流,按涡度方程,气旋性涡度增加,这时流场与气压场不适应,在地转偏向力的作用下,在这附近的气旋性流场中有气流向外辐散,而辐散的结果,又使地面减压。这时,地面流场与气压场也不适应了,在气压梯度力的作用下,就有气流向负变压区辐合。按质量守恒原理,在高层辐散,低层辐合区,必有上升运动,在此过程中,流场与气压场达到新的地转平衡,这样就形成了地面气旋。根据图 1,南面的正涡度平流区只到达长江中游一带,在东部沿海地区的正涡度平流应该不是由南支槽产生的,而应该是由深厚的北支槽和黄渤海的高压脊共同产生的,因此北支槽的存在对此地面气旋的发展起了很重要的作用。

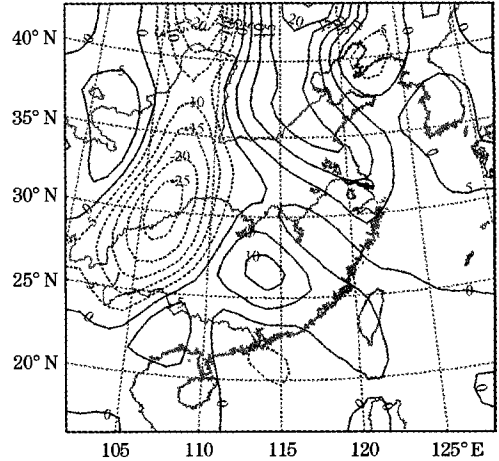


图 1 2005 年 4 月 9 日 8 时 500hPa 涡度平流
单位: 10^{-10}s^{-2}

垂直运动方程^[6]

$$\left(\sigma \nabla^2 + f^2 \frac{\partial^2}{\partial p^2}\right) \omega = f \frac{\partial}{\partial p} [\mathbf{V}_g \cdot \nabla (f + \zeta_g)] - \nabla^2 \left[\mathbf{V}_g \cdot \nabla \frac{\partial \Phi}{\partial p} \right] - \frac{R}{c_p p} \nabla^2 \frac{dQ}{dt} \quad (1)$$

右端第一项为涡度平流随高度的变化,当涡度平流随高度增加时 $\frac{\partial}{\partial p} [\mathbf{V}_g \cdot (f + \zeta_g)] > 0$, 有上升运动 ($\omega < 0$)。8 日 20 时涡度平流沿 30°N 的垂直剖面图上(图 2),在 120°E 附近,就是地面低压生成的地方,涡度平流随高度增加,正涡度平流中心在 250hPa 附近,400hPa 到 250hPa 之间有很大的涡度平流梯度。对流层中低层涡度平流小,而中高层涡度平流大,气旋性涡度增加,使风压场不平衡,在地转偏向力的作用下,必产生水平辐散,为保持质量连续,其下将出现补偿上升运动。涡度平流的垂直分布在对流层中上层维持上升运动,有利于地面气旋的发展。

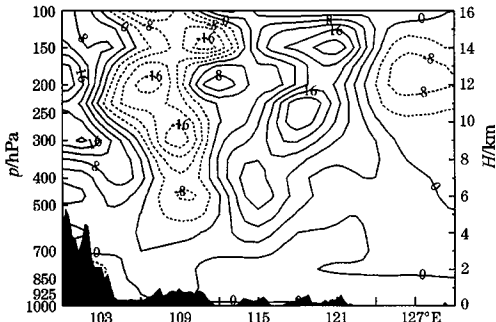


图 2 2005 年 4 月 9 日 8 时涡度平流沿 30°N 的垂直剖面分布
单位： $10^{-10} s^{-2}$

另外，由于高空有南北两个系统，南支槽移动速度慢，北支槽移动速度快，9 日 8 时 850hPa 以下等压面上北支槽后的西北风与南支槽前的西南风相遇，在长江流域形成一条切变线。而两支气流的风速都很大，在 9 日 8 时 850hPa 西北风为 $16 \sim 20 m \cdot s^{-1}$ ，而西南急流更强，有多个站大于 $20 m \cdot s^{-1}$ 。中低层西南风和西北风相遇，产生了很强的辐合上升运动，9 日 8 时 850hPa 在切变线附近散度最小值达 $-14 \times 10^{-6} s^{-1}$ 。南北两个系统的相互作用也有利于地面气旋的发

展。

2.2 热力因子分析

此天气过程有一个非常突出的特点就是中低层在华南到中南地区有很强的暖舌。8 日 08 时 850hPa 上在青藏高原东面的低压上就配合有暖舌，并且逐渐向东北方向伸展，8 日 20 时在江苏、安徽一带暖中心达 $18^{\circ}C$ ， $16^{\circ}C$ 的暖舌一直延伸到黄海。9 日 08 时江苏、安徽一带暖中心达 $19^{\circ}C$ ， $16^{\circ}C$ 暖舌仍然维持到黄海，经向度更大，位置略有东移。要知道暖舌是如何产生的，可以通过分析温度平流来了解。8 日 20 时 850hPa (图 3a) 在黄河下游和长江中下游之间的区域有比较强的正温度平流，中心达 $20 \times 10^{-5} C \cdot s^{-1}$ ，从位置来看，应该主要是由北支槽前的西南急流把南方的暖空气带到北方地区而形成的。随着北支槽的东移，暖平流也向东移动，到 9 日 08 时 (图 3b)，暖平流中心已移到黄海，可以推断在这一段时间内，长江下游地区有暖平流快速移过。此时，南支槽前西南风加大，也形成了较强的暖平流，但位置还没有到达长江下游地区。根据

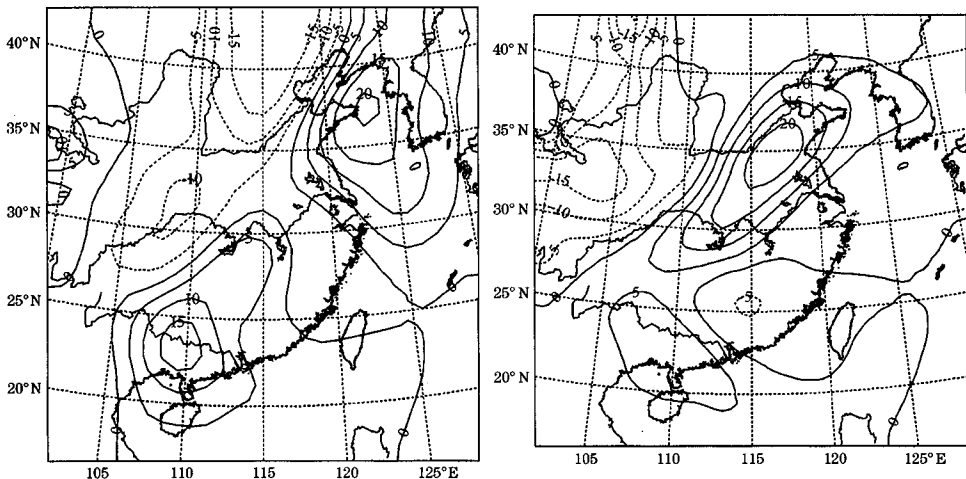


图 3 2005 年 4 月 8 日 12 时 (a) 和 2005 年 4 月 9 日 8 时 (b) 850hPa 温度平流
单位： $10^{-5} C \cdot s^{-1}$

垂直运动方程^[6], 暖平流区, 有上升运动。暖平流使高空等压面升高, 使温压场不平衡, 在气压梯度力作用下, 必产生水平辐散, 为保持质量连续, 将产生上升运动, 有利于地面气旋发展。

非绝热加热因子对气旋发展的也有作用。9 日 02 时安徽已经出现降水, 08 时在江苏、安徽一带出现强降水, 安徽有一站 6 小时降水量达 41mm, 14 时、20 时安徽境内 6 小时降水量中心分别为 29mm、34mm。9 日安徽一直维持有强降水, 降水过程水汽凝结、释放大量潜热, 部分抵消了绝热膨胀冷却的作用, 使气柱降温不致太快, 高层减压变慢, 因而使高层维持较强的辐散, 低层减压增强, 气旋得以更快地发展, 同时上升运动也增强起来。低压的发展又促进了降水, 在水汽充足的情况下, 形成了正反馈。

3 大风产生的原因分析

地面低压的发展、形成大的气压梯度力, 是大风产生的重要原因, 但是只有舟山出现 10 级的风, 低压中心附近反而没有出现大风 (8 级以上)。舟山是海岛, 海上摩擦小, 易产生大风, 这是一部分原因, 但还不足以造成这么大的差距。可以通过计算垂直速度和全风速来分析是否存在动量下传。在 9 日 08 时垂直速度和全风速沿 31°N 的剖面图上 (图 4), 在 150hPa 附近有高空急流, 在舟山附近的 925hPa 有一支低空急流, 最大风速有 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 地面低压中心大约位于 32°N、120°E 附近, 低压西面为上升运动, 东面为下沉运动, 形成一个垂直环流。出现大风的嵊泗站位于 31°N、122°E 附近, 上空是下沉气流。而在嵊泗站附近低层的全风速比别的地方大, 全风速的等值线向下伸展, 这说明是下沉气流将高空的动量带下来, 引起地面罕见的大风。

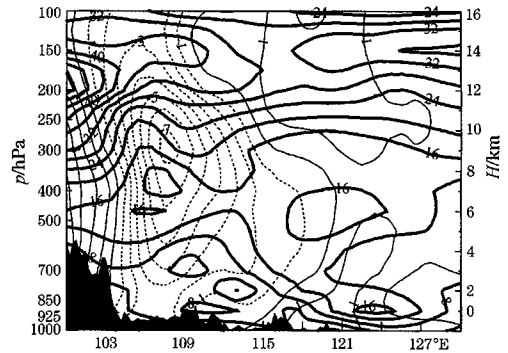


图 4 2005 年 4 月 9 日 08 时垂直速度和全风速沿 31°N 的剖面图

粗实线: 全风速 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),

细线: 垂直速度 ($10^{-1}\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)

4 结论

经过以上诊断分析, 认为这次南大风的产生机制是:

首先地面上在四川有一个低压, 在它的东面形成了地面倒槽波动, 随着四川低压的强烈发展, 倒槽也向东北伸展到了安徽、江苏一带, 倒槽的气旋性环流为地面低压的形成打下了基础。高空的北支槽前的涡度平流、低层南北两支气流相遇形成的强烈的切变是地面低压能够形成并发展的关键。中低层的温度平流使地面低压能够进一步发展。充足的水汽供应, 降水凝结释放潜热维持上升运动, 是低压发展的又一有利条件。低压的发展, 在地面形成大的气压梯度, 是大风产生的根本原因, 同时由于在低压和舟山之间存在一个垂直环流, 下沉气流将高空的动量带下来, 最终形成了地面的强风。表面上看, 是由南支系统生成的一个低压, 其实北支系统在它的形成与发展中起了非常关键的作用。

从而得出舟山群岛低压大风的预报思路:

(1) 预报低压大风最重要的是地面气压

梯度, 低压中心附近的最大的气压梯度与地面风力大小直接相关。影响舟山的低压一般从西面发展东移过来, 可以提前从上游地区看到地面气压梯度的情况, 低压中心最低气压、最大的24小时变压、上游台站出来的大风反映了低压发展的强度, 可以作为预报指标。

(2) 低压的发展离不开涡度, 高空的涡度平流、中低层的气旋性切变是低压能否发展的重要的动力因子。要特别注意北面是否有冷空气配合, 当北面有冷空气的时候, 当高空有急流的时候, 这两个条件更容易达到。

(3) 中低层温度平流能引起上升运动, 是低压预报的另外一个重要的着眼点。在普查历史天气图资料中, 也发现强烈发展的低压一般在中低层都有暖舌。低压附近一般会

产生降水, 降水释放的潜热也能促进低压的发展, 在水汽充足的情况下, 降水与低压发展是正反馈过程, 要注意水汽条件。

(4) 最后看高空风速与垂直环流配合情况, 是否有利于动量下传。这一点与冷空气大风是一样的。

参考文献

- 1 仪清菊, 丁一汇. 黄、渤海气旋爆发性发展的个例分析. 应用气象学报, 1996, 7 (4): 483~490.
- 2 林明智, 李修芳, 余鹤书. 预报爆发性气旋的一个综合判据. 应用气象学报, 1993, 4 (1): 112~116.
- 3 李晓东, 马德贞. 温带气旋爆发性发展的中期背景及预报. 气象, 1993, 19 (5): 34~38.
- 4 周鸣盛. 一次爆发性的春季黄河气旋发展过程. 气象, 1986, 12 (10): 19~22.
- 5 刘鹏, 李书文. 爆发性发展产生的北方冬季雷暴天气分析. 气象, 1998, 24 (5): 47~51.
- 6 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文等. 天气学原理和方法. 北京: 气象出版社, 1992.