

热带风暴海马变性前后的物理量诊断分析

张迎新¹ 李根娥^{2,3} 张守保¹

(1. 河北省气象台, 石家庄 050021; 2. 兰州大学大气科学学院;
3. 河北省气象科技服务中心)

提 要: 利用 NCEP 再分析资料, 针对热带风暴海马(0421)变性前后各物理量进行诊断分析, 发现了一些有意义的结果。由变性前高低层的暖心对称结构到变性后非对称的锋面结构, 其中冷空气是从低层、低压的西南象限开始入侵的。同时相对涡度场上, 也由整层左右对称的正涡度演变成自低层到高层向西倾斜的垂直分布。另外, 24 小时平均相对涡度、平均散度呈现出中低层数值变大, 且辐合上升层的厚度也加大的特点; 最大上升速度中心的高度由变性前的 600hPa 上升到 500hPa。由于西风带高空槽东移, 变性后存在两条水汽通道, 一条伴随槽前的西南气流, 一条来自南海与强劲的偏南气流相伴。

关键词: 热带风暴 变性 物理量特征 诊断分析

Diagnoses Analysis of Physical Characteristic Changes of Tropical Storm Haima Before and after Its Transformation

Zhang Yingxin¹ Li Gene^{2,3} Zhang Shoubao¹

(1. Hebei Meteorological Observatory, Shijiazhuang 050021; 2. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University;
3. Hebei Meteorological Science and Technology Service Center)

Abstract: By using the data of NCEP, the physical characteristics of tropical storm ‘Haima’ (0421) before and after its transformation are analyzed. The results show that before its transformation, ‘Haima’ had a warm core and a symmetric structure, and after transformation, the storm became more asymmetric and frontal. In this process, the cold air invaded into storm from the southwestern part at low-level layer. The relative vorticity changed from symmetric positive value at all levels beneath 200hPa to asymmetric structure. In the mean time, the mean relative vorticity and divergence in 24h in middle and low levels became bigger and layer became thicker. The height of vertical velocity center changed from 600hPa to 500hPa. There were two vapor

资助项目: 国家科技部科研院所社会公益研究专项(2005DIB3J104)课题资助

收稿日期: 2007 年 4 月 2 日; 修定稿日期: 2008 年 1 月 23 日

channels because of the eastward trough, one came with southwestern flow, and the other came from the South China Sea with southern flow.

Key Words: tropical storm transformation physical characteristics diagnoses

引 言

近二十多年,热带气旋的变性研究是热门话题。普遍认为在绝大多数情况下,气旋的变性是深厚暖心结构的热带气旋移到深厚的高空冷槽或已经存在的温带气旋的下游地区时发生的^[1],具有与斜压中纬度环境场相互作用的非对称的热力场^[2-4]。由于热带气旋登陆北上后与中纬度高空槽共同作用可造成华北地区的强降水,酿成严重的洪涝灾害。如 7503、5612、8209、9406、8407、7203、0421 热带风暴(“海马”)等,在河北境内都产生了特大暴雨,暴雨的增幅作用尤为明显。尤其 8407 号台风变性后北上造成华北地区的特大暴雨^[5],过程降水量达 400mm 以上,占当地全年降水量的 1/2。因此探讨此类变性台风暴雨成因,也是认识北方洪涝灾害形成的重要途径。

本文利用 NCEP 一天 4 次的再分析资料($1^{\circ} \times 1^{\circ}$),着眼于热带风暴海马变性前后的物理量进行诊断分析,可望从中得到一些启示,为实际业务预报提供一种有益的参考。

1 热带风暴海马的基本情况

热带风暴海马(HAIMA)(2004 年第 21 号)于 2004 年 9 月 11 日 18 时(世界时,下同)在台湾东部 30km 的海面上生成。9 月 13 日中午 04 时在浙江省温州市沿海登陆,登陆时风暴中心附近最大风力达 8 级($18\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),登陆后热带风暴云系强度已明显减弱,强降水落区主要分布在浙江北部、江苏南部和上海等地区,其中温州沿海降水强度较

大。“海马”的势力较弱,成活期较短(只有 1 天半),13 日 06 时进入乐清就减弱为热带低气压,随后以 $15 \sim 20\text{km}$ 的时速继续向北偏西方向移动(图 1)。13 日下午 09 时停止编号。在移动的过程中只造成部分地区的暴雨天气。14 日 00 时至 15 日 00 时热带低压海马经江苏、山东经渤海进入河北境内,其强度有所加强(图 1),并与中纬度低槽云系相互作用,生成许多中尺度云团,在山东、河北地区产生强降水天气,部分地区出现了暴雨到大暴雨。由图 1 可见,14 日 00 时后“海马”低压是加强的,上海台风所确定此时气旋已变性。由于气旋变性后有加强趋势,同时降水强度也增强。

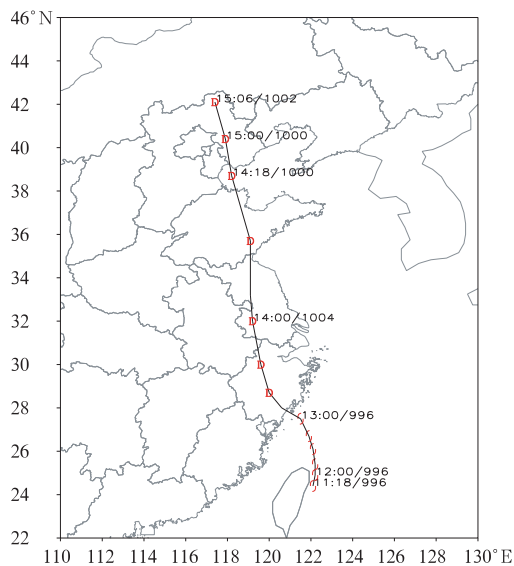


图 1 热带风暴海马及其减弱低压的路径
世界时间/中心气压(hPa)

2 海马演变过程的天气形势

13 日 00 时 500hPa 高空形势图上(图略),亚洲中纬度地区为两槽两脊型,西部深

槽位于 105°E 以西,东部浅槽位于朝鲜半岛附近。西太平洋副热带高压位于 120°E 以东,此时热带风暴海马位于副高西侧的东南气流中。随着西部低槽的东移,位于华北的高压脊与副高同位相叠加,于 13 日 12 时在华北东部形成高压坝,受高压西侧的偏北引导气流的影响,“海马”(此时已减弱成热带低压)向偏北方向移动。

热带风暴海马演变过程如图 2。13 日 00 时(图 2a)在“海马”上游的中纬度地区有一明显的高空槽($PV \geq 0.4\text{PVU}$,阴影区),并配合冷温槽,槽前有较强的温度梯度。高空槽加强东移,13 日 18 时(图 2b)与高空槽配合的位涡大值区与北上“海马”的位涡区

(13 日 09 时中央气象台停止编报)相接,两者间的温度梯度加大(厚度梯度约 10 位势米/经度),但热带低压周围有闭合和近圆形的等厚度线,说明低压的暖心结构还存在。14 日 00 时(图 2c)“海马”减弱低压附近已无闭合或近圆形的等厚度线,即热带低压的暖心已消失,但低压上空还有弱暖脊存在。伴随高空槽的东移和热带低压的北上,两者之间的锋区加强(厚度梯度约 14 位势米/经度)。对应卫星云图上(图略),冷锋云系前部有许多中尺度云团存在(对应“海马”位置)。上海台风所确定此时“海马”已变性。14 日 06 时(图 2d)锋区继续加强(厚度梯度约 16 位势米/经度)。

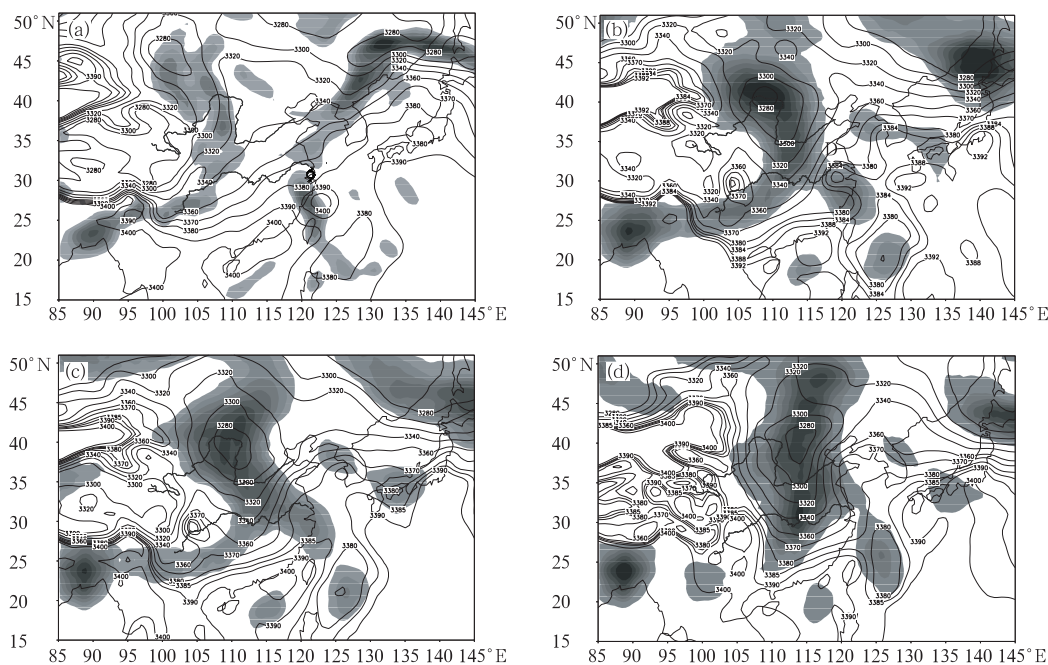


图 2 600~900hPa 厚度(m)和 500hPa 等压面上的位势涡度(PVU)(阴影区 $\geq 0.4\text{PVU}$)

(a) 13 日 00 时 (b) 13 日 18 时 (c) 14 日 00 时 (d) 14 日 06 时

3 热带风暴海马变性前后各物理量场的变化

3.1 降水量

热带风暴海马于 2004 年 9 月 14 日 00

时由热带气旋转变为温带气旋。与变性前 24 小时降水量(图 3a, 即 9 月 13 日 00 时至 14 日 00 时总降水量)相比,变性后 24 小时降水量(图 3b, 即 9 月 14 日 00 时至 15 日 00 时总降水量)从强度和范围上都有一个明显

加强的趋势。“海马”变性前,沿途降水量以中到大雨为主,个别地区出现了暴雨;变性后和中纬度低槽云系相互作用,生成许多中尺度云团(图略),在山东、河北地区产生强降水天气,部分地区出现了暴雨到大暴雨。

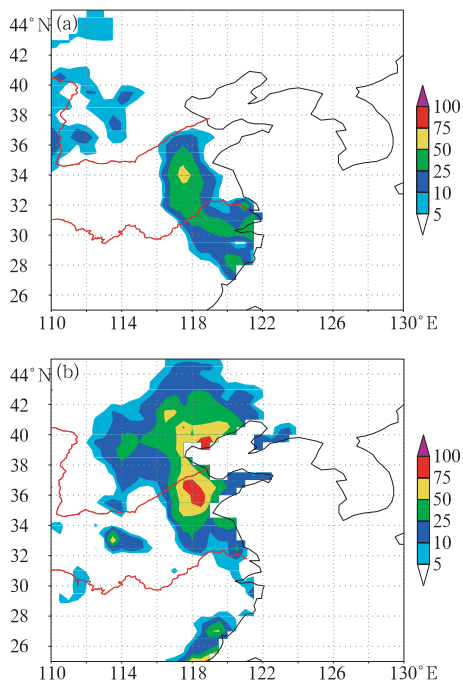


图 3 24 小时降水总量
(a) 13 日 00 时至 14 日 00 时
(b) 14 日 00 时至 15 日 00 时

3.2 涡度场

“海马”变性前,已减弱为热带低压,13 日 06 时低压环流上空 200hPa 以下有很强的正涡度区(图 4a),中心位于 850hPa 附近,中心值为 $+18 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,低压中心几乎与涡度中心垂直,涡度分布呈对称结构。至变性前的 13 日 18 时中心值减小到 $+12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,位于 925hPa 附近(图略)。中心值随时间而减小,且中心所处的高度随时间而降低。说明该低压系统旋转运动是随时间减弱的,但一直维持对称结构。变性后,由于西风带高位涡的侵入(图 2),低压环流上空的正涡度区的对称结构被破坏,14 日 18 时(图 4b),700hPa 以下基本呈对称结构,而 700hPa 以

上正涡度区向西倾斜,对应高空槽的正涡度区,且随时间正涡度中心是加强的。低压环流上空 500hPa 以上为负涡度。

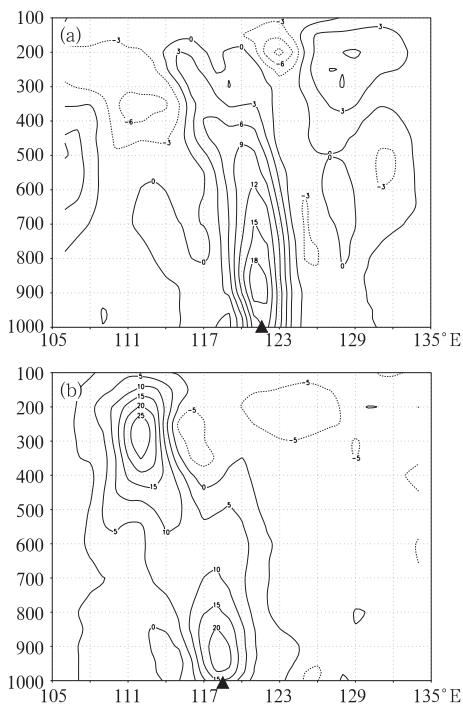


图 4 过低压中心的涡度的空间剖面
(单位: 10^{-5} s^{-1} , \blacktriangle 代表低压位置)
(a) 13 日 06 时 (b) 14 日 18 时

图 5a、b 是“海马”变性前后,沿降水中心纬度 24 小时内平均相对涡度的空间剖面图。变性前(图 5a),在降水区上空 650hPa 以下为正涡度,其上为负涡度中心。负涡度中心在 300hPa,值为 $-5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,负涡度与低层正涡度中心相叠加区域为降水强度最大处(粗实线)。变性后(图 5b)低层的正涡度中心强度和厚度都明显加强,由变性前 $+1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 到变性后 $+5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$;降水区上空的正涡度层变厚,由 650hPa 上升到 500hPa 上下。负涡度中心的高度无明显变化,但值有所加强,大降水区域($\geq 50 \text{ mm}$)出现在高低空正负涡度中心叠加区域(粗实线)。这说明变性后中低层大气的气旋性旋转是加强的。

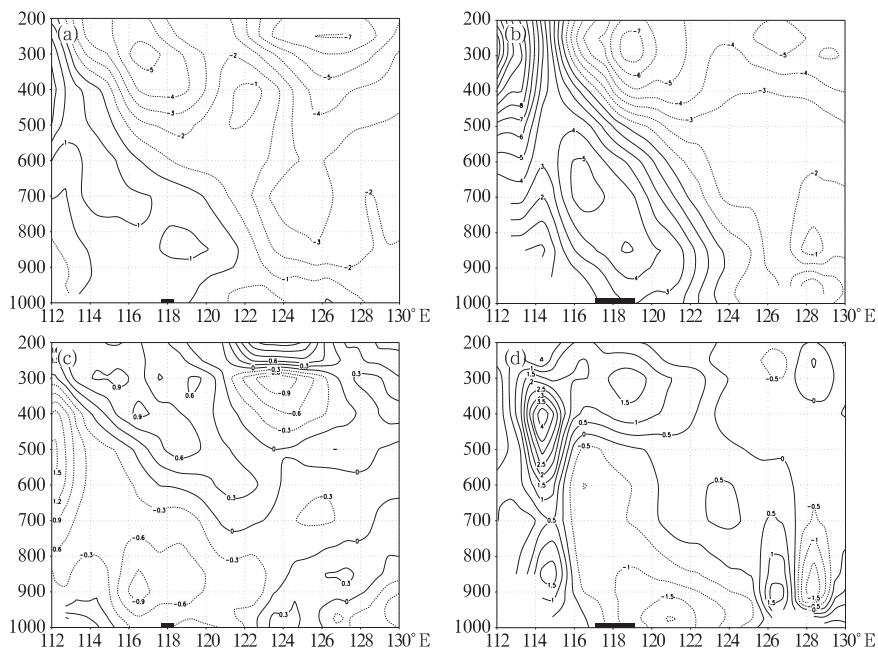


图5 变性前后沿降水中心纬度的24小时内物理量的时间平均剖面图

(单位: 10^{-5} s^{-1} ,粗线:暴雨区)

- (a) 13日00时至14日00时内平均相对涡度 (b) 14日00时至15日00时内平均相对涡度
(c) 13日00时至14日00时内平均散度 (d) 14日00时至15日00时内平均散度

3.3 散度场

图5c、d是“海马”变性前后,沿降水中心纬度24小时内平均散度的空间剖面图。变性前(图5c),在降水区上空600hPa以下为负值区,其上为正值区,正负中心值均 $0.9 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,低层辐合,高层辐散。变性后(图5d),低层的负散度中心强度和厚度都明显加强,由变性前 $-0.9 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 到变性后的 $-2.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$;降水区上空的负散度厚度由600hPa到500hPa以上;同时高层的正散度中心也加大到 $+1.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。但低层的负值区域在 116°E 以东的区域中,而图3b中的降水区在 112°E 以东。我们又分析了24小时内各时次的散度分布,发现14日14时低层的负散度区范围较大,而其他几个时次范围相对小;这与 $112 \sim 116^\circ \text{E}$ 的降水量较小是对应的,大于25mm的降水都出现在 116°E 以东。总之,变性后低层辐合和高层辐

散作用都加强,大降水也落在高层辐散中心与低层辐合区相叠加的区域(粗实线)。

3.4 垂直上升运动

我们沿降水中心纬度做24小时内平均垂直速度的空间剖面图(图略),可见变性前降水区上空上升运动可达250hPa,其最大上升速度出现在600hPa左右,值为 $0.035 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;变性后(图略)降水区上空的垂直上升运动加强,其最大速度出现在500hPa以上,最大上升速度值为 $0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

3.5 水汽通量

图6是海马台风变性前后的850hPa等压面流场和水汽通量场。13日12时(图6a)值大于 $6 \text{ g} \cdot (\text{s} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm})^{-1}$ 的水汽通量与热带气旋“海马”减弱的低压断开,对应700hPa(图略)这种形势更加明显,在“海马”东南侧只有弱的水汽通量,完全与来自南海

的水汽断开。此时卫星云图上(图略)，“海马”附近的云系变得支离破碎。而变性后的 14 日 18 时(图 6b)，有两条水汽通道，一条来自南海与强劲的偏南气流相伴；另一支来自

长江中上游地区与西风带高空槽前的西南气流相伴。对应时次的 700hPa(图略)等压面上同样存在两支水汽通道。也说明变性后其水汽来源也较充沛。

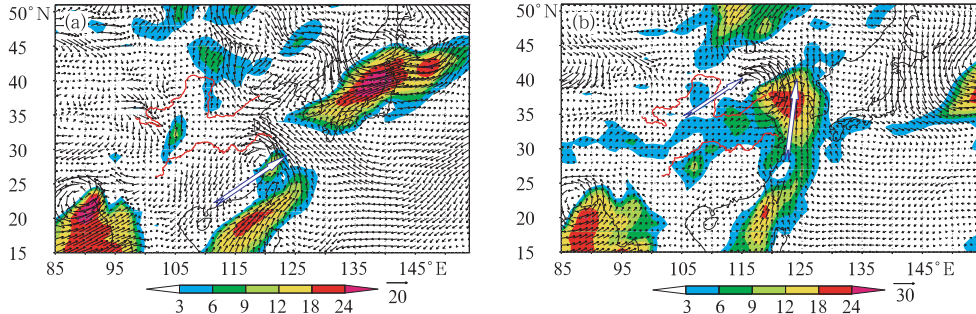


图 6 850hPa 等压面的流场和水汽通量场(阴影区)
(单位: $\text{g/s} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm}$) (a) 13 日 12 时 (b) 14 日 18 时

3.6 厚度场

我们分析了 300~600hPa、600~900hPa 两层的等厚度线和海平面气压场(图 7, 其中

D 为“海马”低压的位置)。600~900hPa 层的厚度变化情况能代表低层锋区和冷空气活动；而 300~600hPa 层的厚度变化情况能代表中高层锋区和冷空气活动。13 日 12 时，

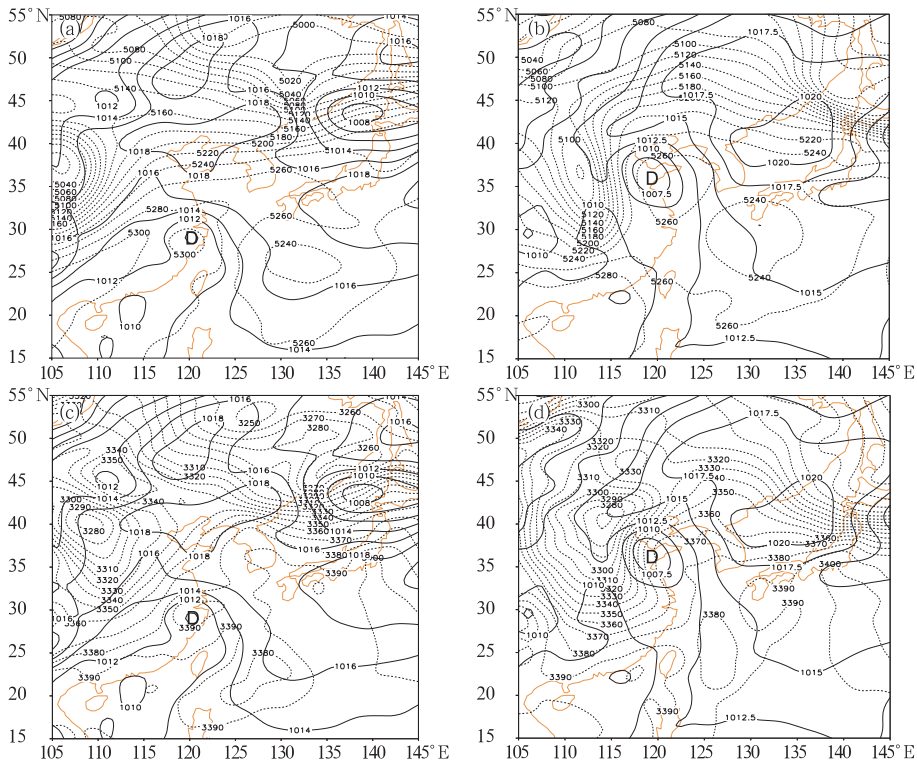


图 7 变性前后高低层的厚度场与海平面气压场(单位: 厚度: gpm; 气压场: hPa)
(a, b) 600~900hPa (c, d) 300~600hPa (a, c) 13 日 12 时 (b, d) 14 日 12 时

“海马”低压上空(中高层)的等厚度线为与“海马”近似同心圆的高值中心(图 7a、c),即此时“海马”基本仍为具有暖心结构的热带气旋特征。但此时势力较弱,中心气压为 1009.9hPa。低层(图 7a)在 110°E 附近有一锋区(等厚度线的密集区),其东移于 14 日 00 时与北上的热带低压相遇(图略),由正压结构转变成斜压结构,完成了气旋的变性过程。14 日 12 时锋区更加明显(图 7b),具有温带气旋的典型特征。此时山东的降水较大。随着低压北上和冷空气东移,14 日夜间至 15 日上午在河北省东部出现了暴雨到大暴雨。而中高层(图 7b、d)锋区(等厚度线密集区)都明显比低层偏西。这也说明冷空气是由低层开始侵入到热带低压而完成变性过程的。同时由图 7b 还可看出热带低压的西南象限有一冷舌,即锋区首先侵入到低压的西南部,说明冷空气是由低压的西南象限开始入侵的。

4 结论与讨论

通过对热带风暴海马变性前后各物理量的分析,发现了一些有意义的结果。

(1) 变性前低压仍具有热带气旋的性质(高低层的暖心对称结构);变性后,由于西风带冷空气的侵入,低压具有温带气旋的性质(锋面特征较明显)。同时,还可发现冷空气是从低层、低压的西南象限开始入侵的。

(2) 变性前,“海马”上空 200hPa 以下呈现以“海马”为中心、左右对称的正涡度区。气旋性涡度(正)随时间是逐渐减弱的,这与低压强度的减弱是一致的。变性后,西风带高空槽的正涡度区与“海马”低压的正涡度区相结合。呈现自低层到高层向西倾斜的正涡度垂直分布,且随时间正涡度中心数值是加强的,达最大之后逐渐减弱。

(3) 变性后,24 小时平均相对涡度呈现出中低层的正值大小和厚度都明显加大的形势。平均散度呈现出低层负散度中心强度和厚度较变性前都明显加强。平均垂直速度也存在加强的趋势,且最大上升速度中心的高度由变性前的 600hPa 上升到 500hPa。

(4) 变性后,由于西风带高空槽东移,存在两条水汽通道,一条伴随槽前的西南气流,一条来自南海与强劲的偏南气流相伴。

(5) 以上各物理量的分布特征,决定了“海马”变性后的降水加强,这与实际的观测降水是一致的。

以上结论可望为实际业务预报提供一种有益的参考,但由于是根据一次变性过程得出的结论,有待进一步的工作验证。

参考文献

- [1] Harr, P., and R. L. Elsberry. Extratropical transition of tropical cyclones over the western North Pacific. Part I: Evolution of structural characteristics during the transition process [J]. Mon. Wea. Rev., 2000, 128: 2613-2633.
- [2] 陈联寿. 热带气旋研究和业务预报技术的发展[J]. 应用气象学报, 2006; 17(6): 672-680.
- [3] 陈联寿, 等. 登陆热带气旋研究进展[J]. 气象学报, 2004, 62(5).
- [4] 李英, 陈联寿, 雷小途. 高空槽对 9711 号台风变性加强影响的数值研究[J]. 气象学报, 2006, 64(5): 552-563.
- [5] 姚秀萍, 于玉彬. 非地转湿 Q 矢量及其在华北特大台风暴雨中的应用[J]. 气象学报, 2000, 58(4): 436-446.
- [6] 徐祥德, 等. 环境场大尺度锋面系统与变性台风结构特征及其暴雨形成[J]. 大气科学, 1998; 22(5): 743-752.
- [7] 尹东屏, 沈树勤, 曾明剑, 等. 淮河下游暴雨和非暴雨天气特征分析[J]. 气象科技, 2005; 33(4): 324-329.
- [8] 黎清才, 等. 登陆北上台风暴雨突发性增强的一种机制研究[J]. 大气科学, 1998, 22(2):
- [9] 刘爱鸣, 林毅, 刘铭, 等. “碧利斯”和“格美”登陆后暴雨强度不同的天气学对比分析[J]. 气象, 2007; 33(5): 36-41.