

热带风暴热力非对称结构对其运动的影响

赵 凯, 沈树勤, 王 卫芳, 王清楼

(江苏省气象台, 江苏 南京 210008)

摘要: 研究了热力非对称结构对0421号热带风暴“海马(Haima)”的移动和强度变化的影响。通过物理量场诊断分析发现, 热带风暴(气旋)的热力结构在垂直、水平方向均呈非对称分布。热力因子对热带风暴的影响, 主要体现在低层。热带风暴朝其移向前方的风暴内部的非绝热增温中心偏折, 并有向此方向加速的趋势。了解热带风暴的热力结构分布特征及其对热带风暴移动的影响, 对短期预报热带风暴的移动有一定的指示意义。

关键词: 气象学; 热带风暴; 过程分析; 热力因子; 非对称结构

中图分类号: P444

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2008)02-0036-06

热带气旋的移动主要取决于环境场引导气流的作用^[1], 但实际上, 气旋的移向与引导气流总有一定的偏折。前人已作了很多有关台风移动路径和强度变化的工作, 并得出很多有益的研究成果。陈联寿等^[2]指出, 台风外区不同热力结构非对称分布特征将导致台风移动路径的显著差异。周霞琼等^[3]通过模拟试验得出, 台风有向较大加热场偏折的倾向, 加热强度越大, 台风向强迫加热区的偏折就越大。罗哲贤等^[4]采用差分方法, 对决定性的正压涡度方程求出模式台风中心移速, 得出环境热源和耗散的作用可使台风中心移动的复杂程度加大。了解热带风暴的热力结构分布特征及其对热带风暴移动的影响, 对短期预报热带风暴的移动有一定的指示意义。

作者主要从天气学、动力学和热力学角度, 通过计算热力因子(非绝热加热项)的方法, 来诊断分析热力非对称结构对0421号热带风暴“海马”的移动和强度变化的影响。

1 热带风暴“海马”的移动路径

第0421号热带风暴“海马(Haima)”于2004年9月12日02时(文中时间均为北京时间)在台湾岛东部附近洋面(24.4°N, 122.2°E)上生成, 其中心气压998 hPa, 近中心最大风速为18 m/s, 向北偏西方向移动。9月13日12时在浙江省温州市沿海登陆, 登陆时中心附近最大风力达8级, 登陆后强度迅速减弱, 变为热带低压(图1)。此登陆过程(图1中①处)为登陆西折型。

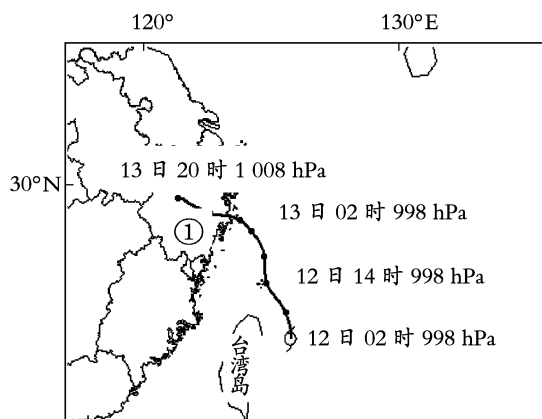


图1 0421热带风暴“海马”移动路径及中心气压

Fig. 1 Track and atmospheric pressure at center of 0421 tropical storm “Haima”

2 天气环流形势特征

2.1 500 hPa 形势

2004年9月12日08时, 500 hPa层中高纬欧亚大陆为二槽一脊型, 东亚沿海有一深槽, 槽底已伸至台湾海峡, 热带风暴处于槽底, 此时西太平洋副热带高压(以下简称副高)以西伸至128°E。20时东亚大槽明显北缩, 副高进一步西伸, 华南有一大陆高压, 热带风暴在二者共同作用下向偏北方向移动。9月

收稿日期: 2005-03-02; 修回日期: 2005-06-17

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(bk99060)

作者简介: 赵凯(1970), 男, 江苏启东人, 工程师, 学士, 目前从事短期天气预报工作, 电话: 025-83681136, E-mail: kaiofchina@vip.sina.com

13日08时欧洲西部出现深槽,槽线位于105°E以西,副高西脊点伸至126°E附近,其中心气压达995 hPa,588 hPa线北界在40°N,其控制范围很广,强度较强。由于副高势力强盛,并仍在西伸,而华南上空有一中心强度达591 hPa的大陆高压,东界达江西,福建一带,“海马”在大陆高压与副高之间,靠近副高西南侧,在引导气流作用下向西北方向移动,于9月13日12时在浙江温州沿海登陆(图2)。9月13日20时,河套西部深槽继续东移,由于槽后较强的冷平流,使槽发展加深,副高西伸至123°E,“海马”已衰减为热带低压。

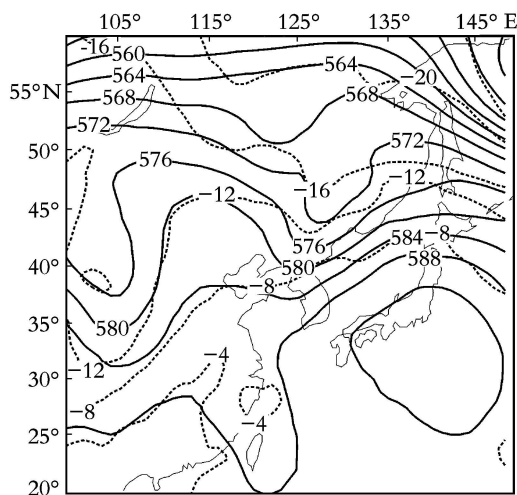


图2 2004年9月13日08时500 hPa形势图

Fig. 2 500 hPa pattern at 08:00 on Sep., 13, 2004

实线为等高线,虚线为等温线

solid line is a contour, dashed line is a isotherm

2.2 850 hPa 形势

在850 hPa图上,2004年9月12日08时热带风暴处于华南暖性倒槽中,槽内温度露点差在0.6~2.9℃之间,温度在12~17℃之间,显示空气较暖湿,热带风暴正处于17℃的暖中心附近。9月13日08时随着风暴北移,其中心远离暖中心,13日12时风暴登陆后迅速减弱,其蜕变的低压中心的右方(即第一象限),都有SE风向高空暖湿急流输送带,低压中心附近有一个18℃的暖中心,不断远离低压中心,并逐渐消散。

以上从天气形势角度分析了环境场对热带气旋运动的影响,下面从气旋的内部热力结构的分布来诊断分析热力因子对热带气旋运动的影响。

3 动力学诊断分析非绝热因子对热带风暴运动的影响

3.1 数据和方法

作者将采用国家气象中心中期预报模式T213资料,通过计算热带气旋内热力因子(非绝热加热项)的方法,重点研究热力非对称结构对0421号热带风暴“海马”的移动和强度变化的影响,使我们对非绝热因子对热带气旋运动的影响有进一步的认识。所用的T213数据为每日08时、20时的分析场格点资料,计算范围为100~150°E,10~60°N,格距为1°×1°,垂直方向从1000~50 hPa,共14层等压面上的温度、比湿、风向风速、位势高度资料,本文根据需求,取1000~200 hPa共10层的资料。

3.2 非绝热加热场对热带风暴移向和强度的影响

通过分析热带气旋内部的热力非对称结构分布特征来研究热带风暴的运动变化。

简化的热力学方程为:

$$\partial T / \partial t = -V \cdot \nabla T - \omega(r_d - r) + (1/C_p) d\bar{Q} / dt$$

由上式得:

$$(1/C_p) d\bar{Q} / dt = V \cdot \nabla T + \omega(r_d - r) + \partial T / \partial t \quad (1)$$

在地面形势预报基本方程中,若只考虑非绝热因子的作用,则^[5]

$$(\partial H / \partial t)_{\text{非}} = - (R/9.8) \ln(P_0/\bar{P}) (1/C_p) d\bar{Q} / dt \quad (2)$$

式(1),(2)中, V 为速度矢量, T 为温度, ω 为垂直速度, r_d , r 分别为湿、干绝热递减率, R 为水汽的气体常数, $R=465.51 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 、 C_p 为定压比热, $C_p=1.0 \text{ J}/(\text{g} \cdot \text{K})$, P_0 , $\bar{P}$ 分别为1000 hPa等压面与平均层等压面,其他均为常用物理量。左端为非绝热加热项,右端第一项为温度平流项,第二项为垂直运动项,第三项为温度局地变化项。

式(1)中,暖平流、稳定大气中的垂直下沉运动及温度局地增温,都将导致非绝热增温。由式(2)可见,当非绝热增温时, $d\bar{Q} / dt > 0$,对气旋发展有正的贡献,有利于气旋的发展和维持;当非绝热冷却时, $d\bar{Q} / dt < 0$,抑制气旋的发展,则气旋将减弱。

在实际大气中,热带气旋不可能是轴对称涡旋,

环境场也会随高度及离气旋中心的距离和气旋的强度与移动速度等而变化^[6]。把距中心 5 个纬度以内来作为气旋的内部结构是比较合理的^[7], 以此来区分开内部结构与环境场的热力因子的影响。

3.2.1 非绝热加热场的垂直、水平变化

从热带气旋内的非绝热变化的垂直分布来看, 热带风暴对流层低层(850 hPa 以下)有一非绝热增温或冷却的 0 度线(热量交换层), 即在登陆以前出现的低层非绝热增温, 而对流层中层出现冷却层(图 3a); 在登陆后出现低层非绝热冷却, 对流层中高层出现了增温层(图 3b)。非绝热增温导致高度场降低, 即热带风暴还在增强阶段(不考虑其他因子的影响)。而登陆后, 非绝热冷却导致高度增加, 即热带风暴在不断减弱。从垂直剖面图上还可以看到, 当低层的非绝热增温(或冷却)越强, 则其热量交换层相应增高。当低层的非绝热增温(或冷却)较弱时, 在高层可能出现 2 层以上的热量交换层, 各层热量强度也较弱。这也说明, 低层的非绝热热量大小, 直接影响其次级的热量强度。热力因子对热带风暴的影

响, 主要体现在低层, 这与文献[5]是一致的。

热带风暴的热力非对称结构, 不但体现在垂直分布的不对称, 也体现在其水平分布的不对称。热带风暴的中心与热力因子的中心并不重合, 在登陆以前, 风暴中心都处于正值区(增温区), 其左(西)侧为正中心区, 右(东)侧为负中心区, 2004 年 9 月 12 日 20 时 1 000 hPa 的正中心值为 $4.7 \times 10^{-5} \text{ K/s}$ (这里的值取的是 $(1/C_p) d\bar{Q}/dt$, 故单位为 K/s), 负中心值为 $-2.2 \times 10^{-5} \text{ K/s}$ 。风暴中心前方的减压大于中心后方的增压, 从而在这里可以分析出非绝热加热因子对其移向的影响, 9 月 12 日 20 时(图 4a)热带风暴一直在 122.1°E 处往北移动, 由于受到非绝热加热的影响, 前方 $(d\bar{Q}/dt)$ 的正值中心(即非绝热增温最大处)与负值中心(即非绝热冷却最大处)所产生的高度差, 造成热带风暴移向后部与前部的高度差增大, 增加的气压梯度力指向减压的方向, 使风暴移速加快, 由原来的 0.4 纬度/3 h 增加到 0.6 纬度/3 h; 而同时造成气旋向 NW 方向偏折, 这从后面距平图上(图 5)的分析可以看出。

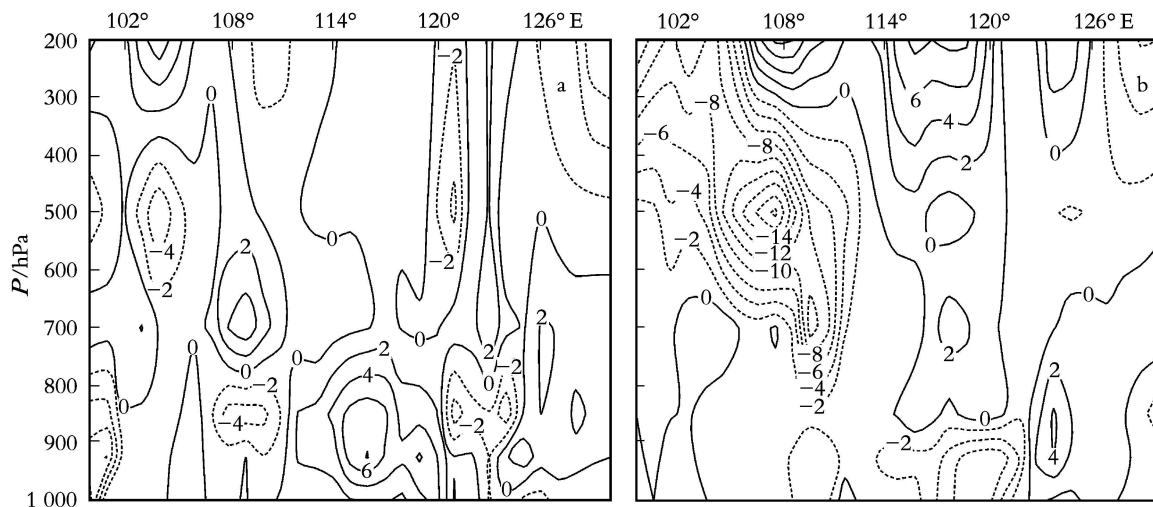


图 3 9 月 12 日 20 时(a)、13 日 20 时(b)热带风暴非绝热项垂直分布($\times 10^{-5} \text{ K/s}$)

Fig. 3 Vertical distribution of the thermodynamic at 20:00, on Sep., 12 and at 20:00, on Sep., 13 ($\times 10^{-5} \text{ K/s}$)

风暴位置: 12 日 20 时, 26.1°N , 122.1°E ; 13 日 20 时, 28.9°N , 120.0°E

Location of storm: at 20:00 on Sep., 12, 26.1°N , 122.1°E ; at 20:00 on Sep., 13, 28.9°N , 120.0°E

9 月 13 日 20 时(图 4b), 风暴中心处于较宽广的负值区的中心附近(冷却区), 其左(西)侧与右(东)侧的正、负区的中心值均较弱, 非绝热因子的变

化对风暴的影响主要体现在对风暴强度的影响, 中心的气压在不断变化, 使气旋不断堵塞, 气旋强度也在逐渐减弱。

9月12日20时,热带风暴中心附近的非绝热加热为 $0.1 \times 10^{-5} \text{ K/s}$ (图3b),对风暴强度的影响很弱,9月13日20时,登陆后其中心附近的非绝热加

热为 $-7.5 \times 10^{-5} \text{ K/s}$,风暴的暖心结构遭到破坏,对热带低压(此时风暴已蜕变为低压)的强度有明显的减弱作用。

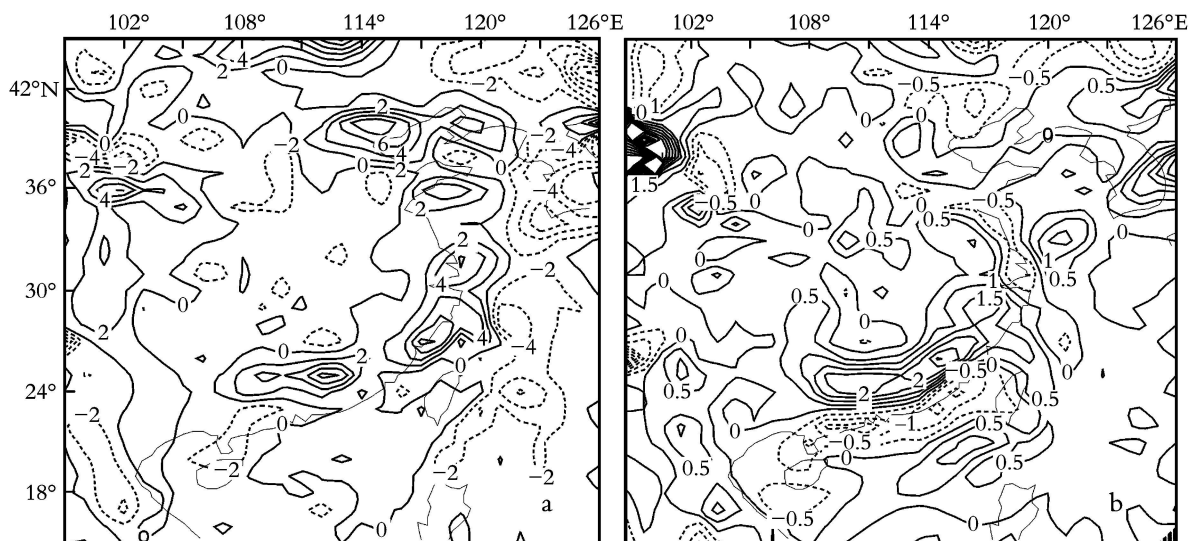


图4 9月12日20时(a)、13日20时(b)热带风暴非绝热项1000 hPa分布($\times 10^{-5} \text{ K/s}$)

Fig. 4 Vertical distribution of the thermodynamic at 1000 hPa at 20:00 on Sep., 12 and at 20:00 on Sep., 13($\times 10^{-5} \text{ K/s}$)

风暴位置: 12日20时, 26.1°N, 122.1°E, 13日20时, 28.9°N, 120.0°E

Location of storm: at 20:00 on Sep., 12, 26.1°N, 122.1°E; at 20:00 on Sep., 13, 28.9°N, 120.0°E

3.2.2 非绝热加热场的 $(1/C_p) d\bar{Q}/dt$ 距平分布

由于热带风暴非绝热加热场存在垂直不对称,从图5(a~h)中可以看出,在850 hPa以下层,非绝热加热场所产生的气压梯度力与热带风暴的移向基本一致,而1000 hPa层更为明显。因此从非绝热加热场的 $(1/C_p) d\bar{Q}/dt$ 水平距平分布来看,选择1000 hPa的 $(1/C_p) d\bar{Q}/dt$ 变化趋势更能体现此热带风暴的非绝热加热场对其运动的影响。

从1000 hPa层非绝热加热场的分布来看,热带风暴的热力水平分布,非对称结构特征明显,从2004年9月12日20时(图5g)中心附近西北侧(第四象限)均为正距平,且中心强度较强,此处即为非绝热增温最强处,而一、二象限则为较大的负距平,为非绝热冷却处,其产生的增压与西北侧的减压所新生的气压梯度力就指向西北方向,从当时热带风暴的移向为正北方向,而23时却转向西北方向偏折,且移速加快。从此处可看出,非绝热加热项对热带风暴的移动有一定的影响。

从9月13日20时(图5h)中心附近SE~NW轴线上(第一、四象限)均为负距平,且第四象限强度较强,此处即为非绝热冷却最强处,而第三象限则为较大的正距平,为较弱的非绝热冷却处(因为此时整个风暴处于非绝热冷却场)。从形势场已知道,当时北方冷空气已开始从西北侧侵入风暴内部,加上风暴登陆后从海洋上输送的暖湿气流已大大减弱,较冷的下垫面作用,使风暴内部发生明显变化。风暴中心的非绝热冷却所产生的增压不断地减弱气旋强度,使热带风暴不断填塞。而从整个过程可以看出,风暴中心的西南侧一直为正距平,也说明西南方向有暖平流的输送,减弱了北方冷空气侵入的影响。同时也说明,此时的热带风暴已减弱为热带低压,与周围环境有所同化,低压(气旋)强度较弱。从整个过程可以看出,如在风暴移向的后方出现较大的正距平,将减缓风暴的移速(9月13日20时前移速为0.56纬距/3h,20时减小为0.40纬距/3h),因为造成高度的相对降低,也就反向增加了气压梯度力,对移速有抑制作用。

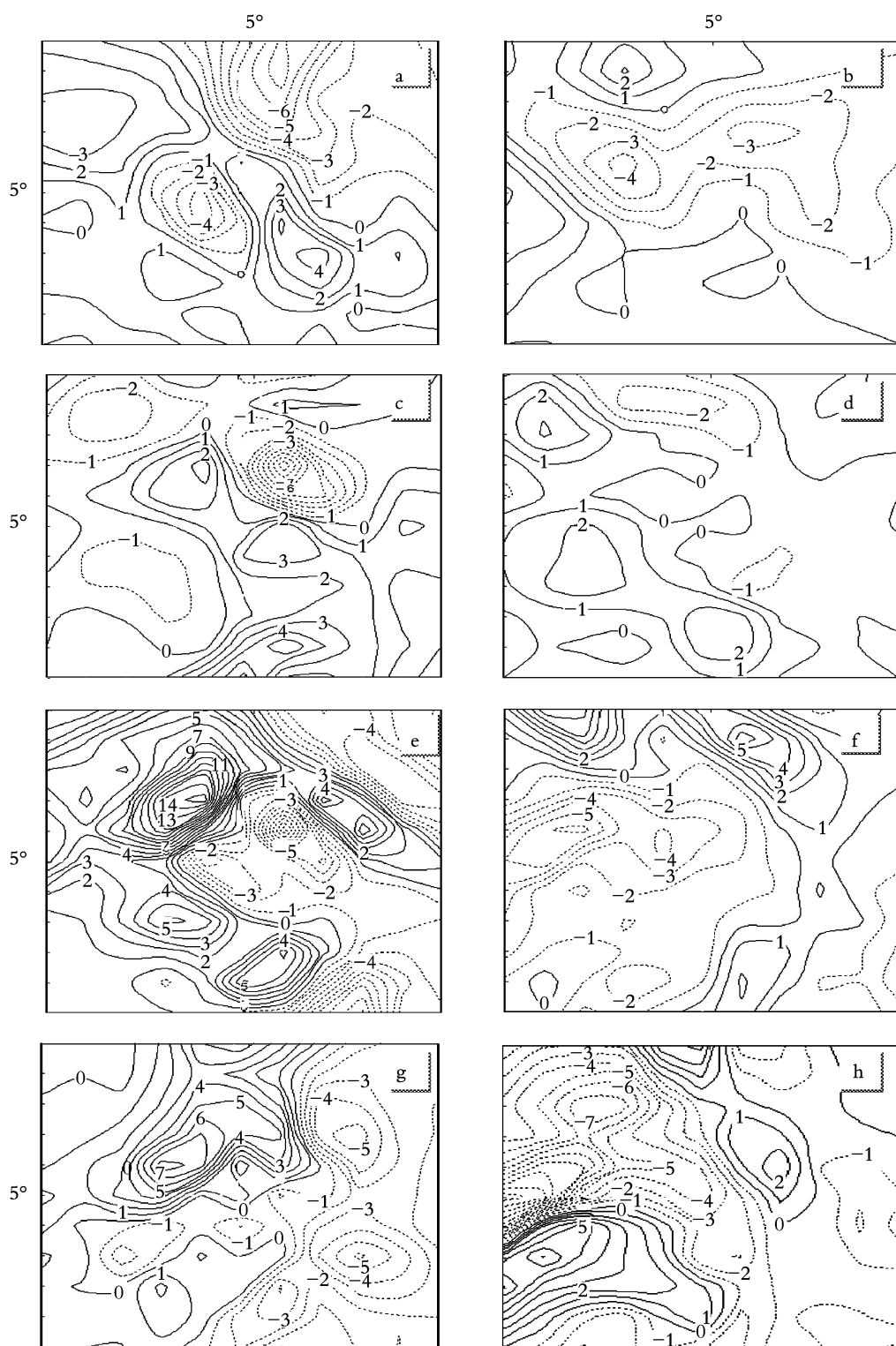


图5 9月12日20时(a, c, e, g)、13日20时(b, d, f, h)非绝热因子的距平分布($\times 10^{-5} \text{ K/s}$)

Fig. 5 Distribution of the anomaly of thermodynamic factor at 20:00 on Sep., 12, and at 20:00, on Sep., 13($\times 10^{-5} \text{ K/s}$)
a, b: 500 hPa; c, d: 700 hPa; e, f: 850 hPa; g, h: 1 000 hPa

4 结论

通过物理量诊断分析发现:(1) 热带风暴(气旋)的热力结构在垂直、水平方向均呈非对称分布。热力因子对热带风暴的影响,主要体现在低层。从整个过程可以看出,风暴中心的西南侧一直为非绝热加热的正距平,也说明西南方向有暖平流的输送。(2) 热带风暴朝其移向前方的风暴内部的非绝热增温中心偏折,并有向此方向加速的趋势。如在风暴移向的后方出现较大的非绝热加热的正距平,将减缓风暴的移速。

参考热力非对称结构对热带气旋运动的影响,对短期预报热带风暴的移动有一定的指示意义。

由于选取的是个例分析,对 0421 号热带风暴热力非对称结构对热带风暴运动的影响,是否对其他热带气旋具有代表性,需要作进一步的研究。

参考文献:

- [1] 陈联寿,丁一汇. 西太平洋台风概论[M]. 北京:科学出版社,1979. 211-213.
- [2] 陈联寿,徐祥德,解以扬,等. 台风异常运动及其外区热力不稳定非对称的影响[J]. 大气科学,1997, 1: 83-90.
- [3] 周霞琼,朱永缙. 非对称的非绝热加热对热带气旋移动影响的数值研究[J]. 应用气象学报,1999, 8: 283-292.
- [4] 罗哲贤,马镜娴. 台风运动内在随机性的研究[J]. 气象学报,1994, 4: 17-24.
- [5] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,1989. 125-126, 402.
- [6] Chen J C L, William M. Tropical cyclone movement and surrounding flow relationship[J]. *Mon Wea Rev*, 1982, 110: 1 354-1 374.
- [7] 王斌, Russell L E, 王玉清,等. 热带气旋运动的动力学研究进展[J]. 大气科学,1998, 7: 535-547.

Influence of the asymmetric thermodynamic structure on tropical storm motion

ZHAO Kai, SHEN Shu-qin, WANG Wei-fang, WANG Qing-lou

(Jiangsu Province Meteorological Observatory, Nanjing 210008, China)

Received: Mar. , 2, 2005

Key words: climatology; tropical storm; analysis of course; thermodynamic factor; asymmetric struction

Abstract: The thermodynamic asymmetric struction influence on the movement and intensity change of the tropical storm "Haima" of 0421 has been researched. By diagnostical analysis it was found by physical quantity that the thermodynamic structure of tropical storm (cyclone) all assumes asymmetric distribution as vertical and horizontal ones. The thermodynamic factor acted on the influence of tropical storm chiefly embodies at the low layer. The storm removes to the direction of the center of diabatic heating inside the strom and has the acceleration trend in the direction.

(本文编辑: 刘珊珊)