

台风 Khanun 迅速加强成因及其与 Rananim 登陆强度的比较分析

Analysis on Causes of Quick Strengthening of Typhoon Khanun and Comparison of Landfall Intensity with Rananim

诸晓明/ZHU Xiao-ming, 张建海/ZHANG Jian-hai, 王丽华/WANG Li-hua

浙江省绍兴市气象局, 浙江绍兴 312000

Shaoxing City Meteorological Bureau, Shaoxing 312000, Zhejiang Province, China

[摘要] 以严重影响我国的 2005 年 15 号登陆台风 Khanun 为研究对象,首先从大尺度环流特征和物理量场,对其登陆前强度迅速加强原因进行了诊断分析,结果表明,台风强度增强与低空持续加强的水汽输送、高空流出气流的强辐散、台风移向垂直切变小值区和暖洋面密切相关;然后就登陆时强度,将 Khanun 与 2004 年 14 号台风 Rananim 从水平流场、暖心结构、稳定性和涡度等方面进行对比,发现 Khanun 在上述几方面略弱于 Rananim,这一结论为登陆台风强度判定提供了一些参考。

[关键词] 台风 Khanun;强度变化;诊断分析

[中图分类号] P47

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)04-0033-04

Abstract: The study was carried out on the landfall typhoon 0515 Khanun which affected East China seriously. Firstly, based on the characteristics of large-scale circulation and physics factors, the causes of the quick strengthening, which came ahead of its landfall, were analyzed. The results show that the enhancement of intensity was associated with lower layer moisture transportation, upper level strong divergence, and the typhoon moving to where vertical shear was low and sea surface temperature was high. Secondly, focusing on horizontal stream field, the structure of warm core, the stability and vorticity, and the landfall intensity were comparative analyzed between typhoon Khanun and Rananim. It is found that Khanun was weaker than Rananim in these aspects; this conclusion may serve as references on judging the landfall intensity of typhoon.

Key Words: typhoon Khanun; variation of intensity; diagnostic analysis

CLC Number: P47

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)04-0033-04

1 引言

台风强度变化是台风研究的重要内容。以登陆为分界,台风生命史可以分为登陆前和登陆后 2 个阶段。目前已有的工作对登陆后台风强度变化的研究较多,认为台风在陆上的维持与外界持续的水汽输送^[1]、中尺度云团的合并^[2]、台风经过饱和湿土或大型水体^[3]、与中纬度环流系统的相互作用^[4]等诸多物理过程有关。而对台风登陆前强度变化的研究较少,由于海洋缺乏观测致使其进展也相对缓慢。虽然气象卫星等空基探测手段能较好地对台风实施实时监测,但强度迅速加强的台风往往使预报措手不及。本文利用常规地面、高空探测资料、NCEP 再分析资料,对台风 Khanun 从生成至登陆前强度迅速增强的原因进行诊断分析,并就台风登陆时的强度与 2004 年 14 号台风 Rananim 进行对比分析,以期找出

有利于台风强度增强的影响因子,为此类台风的强度预测提供依据。

2 台风 Kahnun 登陆前强度变化特征

2005 年第 15 号热带风暴 Khanun 于 9 月 7 日 08 时(北京时,下同)在菲律宾以东洋面生成,8 日 02 时加强为强热带风暴,9 日 02 时加强为台风,随后强度继续增强,并于 11 日 14 时 50 分在浙江省台州市金清镇登陆。登陆后其强度减弱之慢为历史罕见,近中心最大风速 $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的强度维持了 3 个多 h。分析台风强度变化特征发现,Khanun 属近海迅速加强台风,从风暴生成到加强为台风历时短暂,仅 42 h,登陆时正值其发展生命史中最强盛期,在 1949 年以来登陆浙江省的台风中,以登陆时的中心最低气压和近中心最大风速看,强度仅

次于 195612 号台风,要强于 200414 号台风 Rananim。

3 台风强度迅速增强成因探讨

3.1 低空急流和水流输送

充沛的水汽输送,有利于台风暖心结构的维持,也为台风的发展提供充足的能量。从低空水汽输送看(图 1),Khanun 登陆前一直有高通量的水汽输入,并有低空偏南风急流与之相联结。水汽通量大值区分布在低空急流带上,表明偏南风低空急流是台风主要水汽输送带。比较各时刻水汽输送强度可见,当台风近中心最大风速由 9 日 02 时的 $33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 加强为 10 日 14 时的 $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,与此相应的水汽输送也有所增强,中心值已从 $25 \text{ g}/(\text{s} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm})$ 增强为 $35 \text{ g}/(\text{s} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm})$ 。另外从台风区域附近水汽通量场配置看,虽然各时刻存在较大差异,9 日 02 时台

收稿日期: 2005-11-17

作者简介: 诸晓明,男,浙江绍兴市马臻路 175 号绍兴市气象局,高级工程师,主要从事天气预报业务与研究;

E-mail: zx_zxming@sx.gov.cn

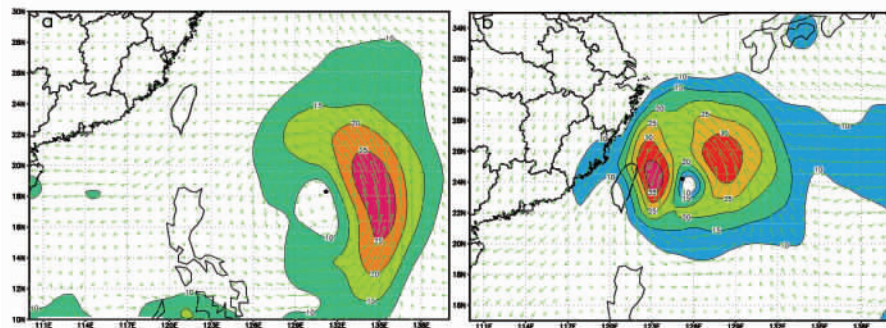


图1 850 hPa 风矢量和水汽通量场
注:阴影为仅给出水汽通量 $\geq 10 \text{ g}/(\text{s}\cdot\text{hPa}\cdot\text{cm})$ 的区域
(a. 9 日 02 时; b. 10 日 14 时; “●”为台风中心位置)
Fig. 1 850 hPa wind vectors and the vapor flux fields
(shaded areas indicate $\geq 10 \text{ g}/(\text{s}\cdot\text{hPa}\cdot\text{cm})$)
(a. at 02:00, 9th; b. at 14:00, 10th; “●” indicates the center of typhoon)

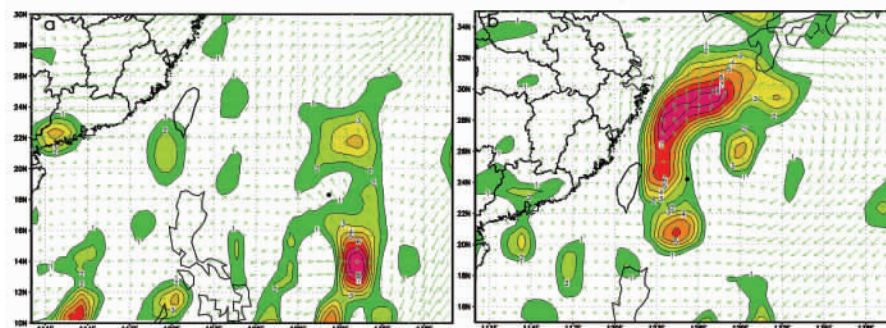


图2 200 hPa 风矢量和散度场
注:阴影,仅给出散度 $\geq 1\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的区域, (a.9 日 02 时; b.10 日 14 时)
Fig. 2 Wind vectors and divergence at 200 hPa
(shaded areas indicate $\geq 1\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ (a. at 02:00, 9th; b. at 14:00, 10th))

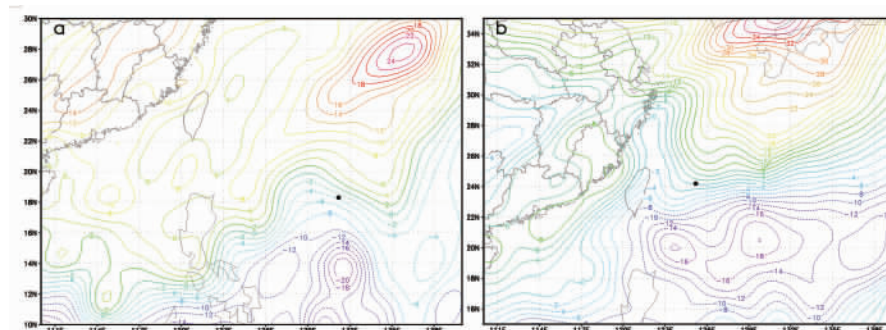


图3 环境风垂直切变
注: a. 9 日 02 时, b. 10 日 14 时; “●”为台风中心位置; 单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
Fig. 3 Vertical shear of wind
(a. 02:00, 9th; b. 14:00, 10th; unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; “●” indicates the center of typhoon)

风东西两侧的水汽输送呈明显的非对称分布, 大值中心位于台风区域东部, 10 日 14 时则表现为对称分布。由此可见, 台风在移动过程中, 大量水汽被卷入台风环流内, 持续并逐渐增强的水汽输送对台风强度加强起到了至关重要的作用。

3.2 高空急流和散度场

高空流出气流的强辐散, 有利于上升

运动, 使得对流发展强盛, 有利于台风的加强和发展。从 200 hPa 散度场 (图 2) 可见, 对流层高层台风区域附近均有强的辐散区存在。但在台风加强过程中, 高空强辐散区的位置有不同变化, 表现在: 9 日 02 时, 强辐散区出现在台风中心东南方向, 高空散度大值中心为 $8\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$; 10 日 14 时, 强辐散区突然移至台风偏北方向, 中心值仍保

持在 $8\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 但强辐散区的范围明显增大; 台风登陆时, 散度增至 $12\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 并继续维持。

造成强辐散的主要原因是高空急流带。分析 200 hPa 合成风矢量可知, 9 日 02 时 Khanun 东南侧有热带东北风急流存在, 东北侧则有一支副热带西南风急流, 台风中心位于 2 支急流轴的右侧, 风速具有较强的反气旋性切变。从两支急流的强度看, 热带东北风急流中心最大风速约为 $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 较副热带西南风急流小, 但前者最大风速中心距台风较近, 因而此时强辐散区出现在台风东南方向。10 日 14 时南侧热带东北风急流出现明显北跳, 急流中心由 9 日 14 时 12° S 移至 22° S 附近, 强度略有增强, 特别是急流中心 $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上的大风区范围有显著扩大。分析北侧急流的变化情况也类似, 由于 Khanun 自生成起就稳定地向西北方向移动, 至 10 日 14 时台风进一步向北侧副热带西南风急流靠近。与此相应, 北侧急流中心最大风速区也有明显的西伸南掉, 南北 2 支急流强度都较 9 日 02 时有所加强, 致使轴线右侧的反气旋性环流加强, 台风风速增至 $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。另外, 由图可知, 10 日 14 时台风区域北侧的出流强度已明显超过南侧, 最强辐散区北移至台风北侧。

3.3 环境风场垂直切变

环境风垂直切变是影响台风强度的一个重要因子。如果风速垂直切变很大, 则积云对流所产生的凝结潜热会迅速地被湍流扩散, 热量不能在对流层上层集中; 相反, 如果风速垂直切变很小, 由凝结释放的潜热始终加热一个有限范围内的同一气柱, 因而可以很快地形成暖心结构。本文以 200 hPa 与 850 hPa 平均纬向风 u 之差来表示对流层整层的垂直切变, 一般认为^[9]风速差小于 $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的垂直切变环境是台风加强发展的一个必要条件。分析台风登陆前各时刻垂直切变分布 (图 3) 发现, 垂直切变大值中心出现在高空急流和低空急流区, 在高低空急流之间等值线异常密集, 具有十分明显的经向梯度; 而台风中心上空垂直切变显著减小, 9 日 02 时为 $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 10 日 14 时为 $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 11 日 14 时登陆前夕在 $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 附近。由此可见, 台风强度加强与沿垂直切变小值区移动有关。

3.4 暖洋面的加热作用

海表温度决定了海洋向大气的能量输送, 台风发生发展时海表水温必须在 $26\sim 27^\circ \text{ C}$ 以上。图 4a 为台风生成时海表温度, 台风所在区域温度在 $28\sim 29^\circ \text{ C}$ 之间。这种暖洋面蕴藏着较大的热量, 海面蒸发旺盛, 通过海气间的湍流输送, 使得台风所在的低层大气获得大量暖而湿的空气, 形成台风发展加强的主要能源。再对台风生成至登陆时刻的海表温度变化情况进行分析 (图 4b),

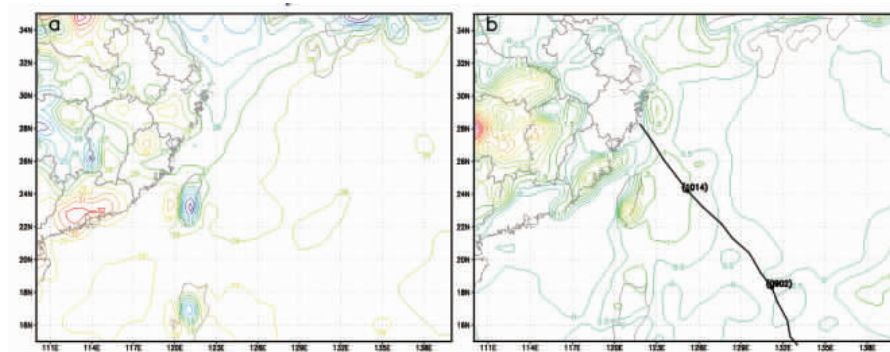


图4 海表温度及其变化

注:a. 7日14时海表温度;b. 7日14时-11日14时海表温度差;虚线为台风路径

Fig. 4 Sea surface temperature and it's variation

(a. SST at 14:00, 7th; b. variation of SST form 14:00, 7th to 14:00, 11th; dotted line indicates the route of typhoon)

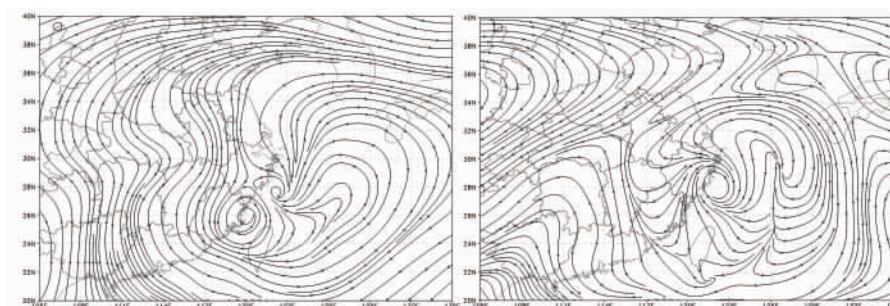


图5 台风登陆时200 hPa 流场

注:a.Khanun,9月11日14时;b.Rananim,8月12日20时

Fig. 5 Streamline field at 200hPa

(a. Khanun at 14:00, 11th Sep.; b. Rananim at 20:00, 12th, Aug.)

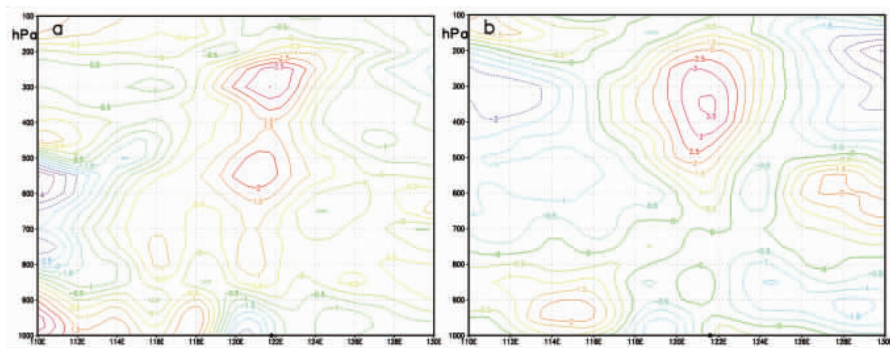


图6 台风登陆时沿台风中心东西向温度与平均环境温度之差的垂直剖面

注:a. Khanun,9月11日14时;b. Rananim,8月12日20时;

单位:°C; “●”为台风中心

Fig. 6 Vertical section of temperature differences between TC center and environment average

(a. Khanun at 14:00, 11th Sep.; b. Rananim at 20:00, 12th, Aug.; unit: °C;

“●” indicates the center of typhoon)

可见台风移经海面都为正变温区。端义宏^[6]的研究表明,海洋温度变化可以引起热带气旋中心气压的突然变化,当下垫面海温升高2℃时,热带气旋中心气压将下降16 hPa,响应时间为8~12 h。Khanun的情况也

与此相吻合,当10日14时台风移入1℃以上的正变温区以后,中心气压下降5 hPa,并一直维持945 hPa的强度直至11日18时。

4 登陆时的强度与Rananim的比较分析

通常,台风强度是以台风中心地面最大平均风速和台风中心海平面最低气压为依据的,近中心风速愈大,中心气压愈低,则台风愈强。Rananim于2004年8月12日20时在浙江温岭登陆,登陆时中心气压为950 hPa,近中心最大风力 $45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,就此而言,Rananim登陆时的强度略小于Khanun。不过,由于前面2个表示强度的要素比较直观简单,故本文主要从和台风强度密切相关的动力、热力结构特征方面来探讨分析。

4.1 水平流场

图5为台风登陆时200 hPa水平流场,两者的共同特点是对流层高层都表现为气旋性辐散流出,表明低压区可扩展高度较高。台风是一个深厚的对流系统,这与成熟台风顶部的流场特征是相一致的,但从流场形状看,各自又具有不同的特点。Rananim登陆时,200 hPa表现为非常对称的圆形闭合环流,而Khanun登陆时流场的对称性并不明显,高层辐散偏向于台风东北侧,而西南侧则出现了反气旋闭合环流。分析发现,当层次降低到300 hPa时,Khanun的流场特征与Rananim非常相似,即为对称的圆形闭合环流。由此看来,与Rananim相比,Khanun低压区可扩展高度要略低一些。

4.2 暖心结构

台风本质上是发生在热带海洋上的一种具有暖中心结构的强烈气旋性涡旋,因而其暖心强度可以代表台风的强弱。图6给出了Khanun和Rananim登陆时通过台风中心东西向温度与平均环境温度之差的垂直剖面,其共同特点是:①对流层中高层都为强的暖心结构,暖心最高的高度在300 hPa附近,且沿台风中心基本呈东西向对称分布,在暖心两侧很狭窄的眼壁附近,有很强的温度梯度,在台风眼区温度梯度较弱;②在台风区的边界层两者都变为冷心,而且呈现东暖西冷的不对称结构,表现在台风登陆点的西侧冷性较强,Khanun和Rananim的温度距平分别达 -3°C 和 -1.5°C ,这可能与台风登陆后由于下垫面的变化,使来自海面的暖湿水汽输送出现的不对称分布有关。但通过进一步的对比就可以发现,两者有很多不同的特征:①与Khanun相比,Rananim的暖心强度较强,其温度距平在 3.5°C 以上,比Khanun高出 1°C 左右;②在Khanun登陆时的垂直剖面图上,暖心较强的层次有2个,分别位于300 hPa和550 hPa附近,而150 hPa以上已转变为冷心结构,这是由于绝热冷却使得上升空气温度低于环境温度的缘故。

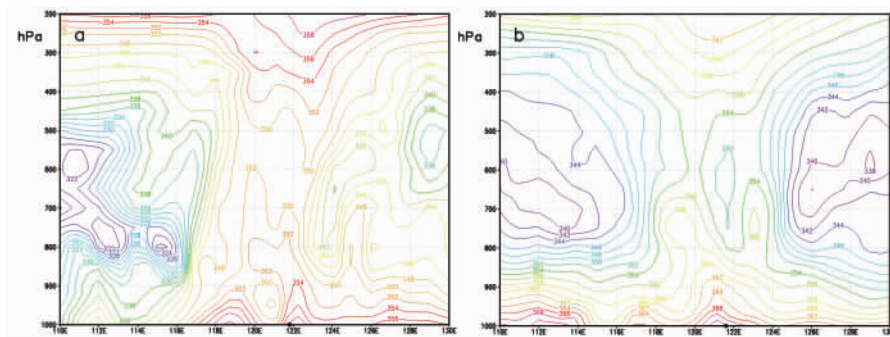


图7 台风登陆时沿台风中心东西向相当位温的垂直剖面
注:a. Khanun, 9月11日14时, b. Ranim, 8月12日20时;
单位:K;“●”为台风中心

Fig. 7 Vertical section of equivalent potential temperature
(a. Khanun at 14:00 11th, Sep.; b. Ranim at 20:00, 12th, Aug.; unit: K;
“●” indicates the center of typhoon)

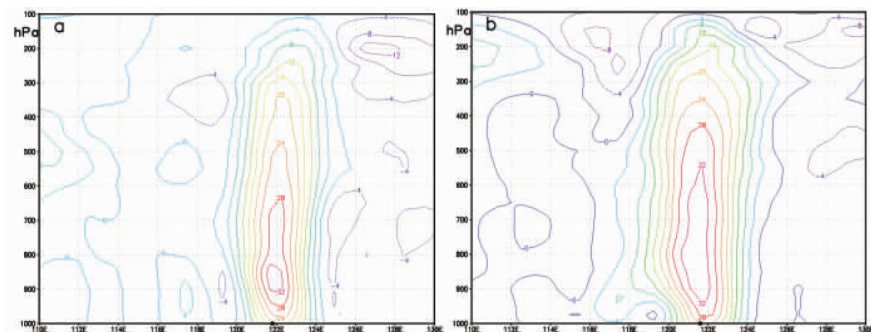


图8 台风登陆时沿台风中心东西向涡度的垂直剖面
注:a. Khanun, 9月11日14时, b. Ranim, 8月12日20时;单位:10⁻⁵S⁻¹;
“●”为台风中心

Fig. 8 Vertical section of vorticity
(a. Khanun at 14:00 11th, Sep.; b. Ranim at 20:00, 12th, Aug.; unit: 10⁻⁵S⁻¹;
“●” indicates the center of typhoon)

4.3 稳定度特征

依据湿位涡理论分析^[7],在湿位涡守恒的制约下,由于 θ_e 面的倾斜,大气水平风垂直切变或湿斜压性的增加,能够导致垂直涡度的显著发展,湿等熵面倾斜越大,气旋性涡度增长越激烈。图7给出了台风登陆时相当位温 θ_e 的垂直剖面。由图可知,台风区域对流层中层存在一个低值区,低层则为相对高值区, θ_e 等值线在600 hPa以下显著上凸,为高温高湿的对流不稳定区,可见对流不稳定区的伸展高度Khanun和Ranim基本等同。其差别主要体现在以下几个方面。①Khanun对流不稳定区沿台风中心基本呈对称分布,而Ranim的轴线

明显地向西倾斜,表明台风的湿斜压性较大,在120°E、750 hPa附近出现一个相当位温的高值中心,与强的上升运动相伴。②分析低层360 K的 θ_e 等值线伸展高度可知,Khanun远低于Ranim,说明前者对流不如后者强烈;而Khanun眼壁区域则出现了 θ_e 低值中心,这可能是由眼区下沉运动所激发的。③Ranim眼墙附近由于强烈的上升运动形成的2个从低层向上的折角较Khanun明显些。

4.4 动力特征

在台风登陆时刻,对应于水平流场的基本圆形对称分布,正涡度区主要分布在台风中心附近的圆形区域内。在东西向的

垂直剖面上(图8),可以看到两者的分布及量值非常接近,在台风区域正涡度区伸展高度较高,直至100 hPa,且沿台风中心都呈东西对称分布,最大正涡度出现在对流层中低层,中心值高达 $32 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。但两者仍有一些细微的差别,主要表现在量值上,对比可知Ranim正涡度 $32 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 以上的范围较Khanun偏大,因此从涡度看Ranim强度略强于Khanun。

5 结论

1) 外界持续加强的水汽输送是台风加强的重要条件,偏南风低空急流是Khanun的水汽输送带;高空热带偏东风急流和副热带偏西风急流流出气流的强辐散有利于台风的加强;台风强度的加强也与其路径经过风速垂直切变小的区域有关;海表温度增暖也为台风的发展加强提供了更多的能源。

2) 虽然Khanun登陆时中心气压较Ranim小5 hPa,但从动力结构特征分析,Khanun在低压区可扩展高度,台风中心涡度和暖心结构强度方面略弱于Ranim,对流也不如后者强烈。因此,当2个登陆台风强度比较接近时,以登陆时的中心最低气压和近中心最大风速结合与台风强度密切相关的动力结构特征来分析、判别台风强度可能更全面些,这是否切实可行值得探讨。

参考文献 (References)

- [1] 李英,陈联寿,徐祥德.水汽输送影响登陆热带气旋维持和降水的数值试验[J].大气科学,2005,29(1):91-98.
- [2] 田洪军,罗哲贤.中尺度涡旋和台风涡旋相互作用的数值研究[J].南京气象学院学报,2002,25(2):159-165.
- [3] 李英,陈联寿.湿地边界层对登陆台风维持机制影响的数值试验[M].北京:气象出版社,2003:313.
- [4] 朱佩君,陈敏,陶祖钰,等.登陆台风Winnie(1997)的数值模拟研究II:结构演变特征分析[J].气象学报,2002,60(5):560-567.
- [5] 陈联寿,丁一汇.西太平洋台风概论[M].北京:科学出版社,1979:105-108.
- [6] 端义宏.海温变化对热带气旋强度影响的数值试验[M]//85-906-07课题组.台风科学业务试验和天气动力学原理的研究(第三分册).北京:气象出版社,1995:129-140.
- [7] 吴国雄,蔡雅萍,唐晓菁.湿位涡和倾斜涡度发展[J].气象学报,1995,53(4):387-404.

(责任编辑 胡春华)

·读者·作者·编者·

《科技导报》公告

本刊编委会新增两位编委,他们分别是:宋伟宏,男,加拿大卑诗大学精神病学系博士,主要从事老年痴呆症研究;朱茂炎,男,中科院南京地质古生物研究所古生物学和地层学国家重点实验室研究员,主要从事动物起源及其早期演化研究。