

北印度洋热带风暴活动引起的东亚大气环流变率及其季节变化

曾 鹿

海南热带海洋学院 海南三亚 572022

摘要: 本文利用美国联合台风警报中心 (JTWC) 和 IBTrACS 提供的北印度洋热带气旋最佳路径资料以及美国国家大气研究中心 (NCEP/NCAR) 发布的再分析资料, 分别对 5 月、7、8 月以及 9 月的热带风暴进行筛选并作合成分析, 探讨不同环流背景下的北印度洋热带风暴活动对下游区域 (20~60° N, 110~160° E) 大气环流的影响。

关键词: 热带风暴; 下游影响; 季节变化; 经向环流指数; 涡度

Variability and seasonal variation of East Asian atmospheric circulation caused by tropical storm activity in the North Indian Ocean

Lu Zeng

Hainan Institute of Tropical Oceanography, Sanya, Hainan 572022

Abstract: Based on the best track data of tropical cyclones in the North Indian Ocean provided by the United States Joint Typhoon Warning Center (JTWC) and IBTrACS, and the reanalysis data released by the National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR), this paper screened and synthesized the tropical storms in May, July, August, and September. It discusses the effect of tropical storm activity in the North Indian Ocean on the atmospheric circulation in the downstream region (20~60°N, 110~160°E) under different circulation Settings.

Key words: tropical storm; Downstream variation; Seasonal changes; Meridional circulation index; Vorticity

引言

热带气旋 (Tropical Cyclone, TC) 的温带变性过程 (Extratropical Transition, ET), 即当 TC 北移进入西风带, 在一定的背景环流以及周围天气系统的影响下, 逐渐失去热带气旋所持有的特性而变成温带气旋的过程。虽然目前国内也已开始进行相关的研究, 但仍有欠缺。据 HarrPA 的统计研究显示, 大多数 ET 事件发生在北太平洋西部和北大西洋上, 且影响更加深广。因此, 目前国内关于 TC 的下游影响的研究工作也主要针对这两片区域上的 TC 展开, 而对北印度洋热带风暴 (NIOTS) 的研究较少。从大气运动规律上看, 我国地处北印度洋下游, 该地区的热带风暴活动对我国有重大影响, 因此, 有必要在我国开展这一区域风暴对下游影响的相关研究。本文通过筛选出符合条件的风暴个例, 进行不同月份的合成分析, 从总体上探讨不同环流背景下 NIOTS 对下游 (20~60° N, 110~160° E) 大气环流影响, 这一研究或许可以为国内相关领域的预报研究提供一些参考。

一、资料和方法

1.1 资料简介

分析使用的热带气旋观测资料来源于世界气象组织提供的最佳路径数据集 IBTrACS (International Best Track Archive for Climate Stewardship) 以及美国联合台风警报中心 (JTWC) 提供的北印度洋热带气旋数据。此外,

还使用到了美国国家环境预报中心 (NCEP) 第一套再分析风速和位势高度资料, 时间间隔为每 6 小时 1 次, 水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 垂直方向分 17 层。

1.2 风暴个例筛选

由于 NIOTS 主要发生于 5~11 月, 在时间上呈“双峰型”分布, 为此, 本文以 5 月、7、8 月以及 9 月作为不同季节的代表月份, 以上述方法对这几个月的风暴个例进行筛选。在筛选过程中, 发现符合条件的个例大多数发生于孟加拉湾, 为了使结果具有代表性和普遍性, 最终选择的个例也都来源于孟加拉湾。

1.3 合成分析方法

本文采用时间上的合成分析方法。在完成每月风暴个例的筛选工作后, 以个例到达 20° N 的时间节点作为合成的中心点, 将到达 20° N 前三天和后三天共计六天的时间 (每天对应四个时次, 包括世界时 00、06、12、18 时, 共计 24 个时次) 分别对位势高度和风速资料进行逐时次的合成计算, 通过大量个例的合成分析来探讨 NIOTS 从总体上对东亚和西太区域的大气环流产生的影响, 后续的计算和作图也将建立在所合成的环境场上。

1.4 经向环流指数的计算

为了更好地研究 NIOTS 对下游的环流影响, 我们采用中国气象局 74 项指数文件中经向环流指数的计算方

法，其计算公式如下：

$$I_M = \frac{1}{n} \sum_{\varphi=1}^n \left| \left(\frac{1}{\cos \varphi} \frac{\partial z}{\partial \lambda} \right) \right|$$

式中、分别为经度和纬度，Z为位势高度，n为计算范围内所取格点的数目。在计算过程中，对每一个网格点采用中央差格式对公式进行展开，得到每个格点的经向指数。

二、北印度洋风暴活动影响下的东亚大气环流变化情况

2.1 5月风暴活动的下游影响

为了研究 NIOTS 北移过程中与中纬度环流相互作用对下游区域的影响，本文将区域(20~60° N, 110~160° E)上的平均经向环流指数随时间的变化作为一个观测指标。图1描述了北印度洋5月TS在经过20° N前后各三天200hPa、500hPa以及1000hPa这三个层次上经向环流强度的综合变化。可以明显看到，在前三天下游区域经向指数整体呈现上升趋势，且在第四天左右达到峰值，也就是在风暴越过20° N之后下游经向环流发展最旺盛。从变化幅度上看，200hPa上指数的扰动变化更大，上游风暴对下游的影响主要集中在高层。

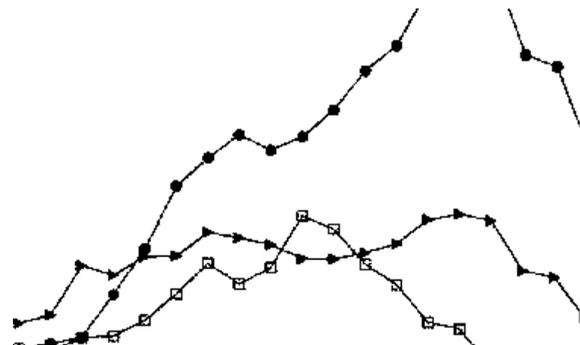


图1 5月1000hPa、500hPa、200hPa 经向环流指数时间序列

2.2 7月、8月下游低层涡度变化情况分析

图2为7、8月下游区域1000hPa上的涡度指数随时间的变化曲线。涡度指数反映了低层系统整体的发展情况，可以看出，在前两天低层涡度整体上呈现上升趋势，且在风暴越过20° N后第二天受影响最大。取时间序列上四个不同时次绘制正涡度分布图(图2)，在前两个时次日本岛北部以及库页岛以东地区上空低层有一个正涡度中心，在第三天也就是NIOTS到达20° N附近时，东北和日本及其附近地区上空有气旋的发展，其发展主要体现在这两片区域正涡度的增强上。

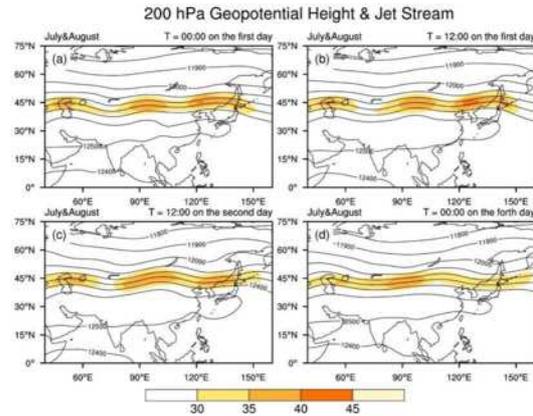


图2 7、8月四个不同时次的正涡度区域分布图
2.3 9月风暴活动的下游影响

图3描述了9月NIOTS影响下的下游区域三个层次的经向环流指数随时间的变化。可以看到前两天整层经向指数变化平缓，在第三到第四天，下游经向指数都在第五天到第六天出现了一个明显的上升，因此9月风暴也对下游产生了影响，最大影响出现在第五天附近。从变化幅度上看，200hPa的指数幅度较大。1000hPa也出现了波动，但是变化较平缓，说明9月的风暴活动对低层的影响也较弱。这与7、8月的变化相似，从路径上分析，两者的风暴活动都为偏西北行，在海上生成后就登陆，强度衰减迅速，因此与中纬度环流的作用较弱，上游向下游的能量频散也较弱。此时影响还未传播至下游。

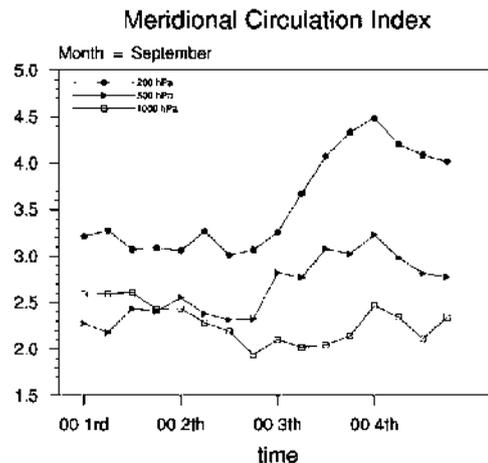


图3 9月NIOTS影响下的下游区域三个层次的经向环流指数变化

三、北印度洋风暴下游影响的季节变化情况及成因分析

本文选取了5月、7、8月以及9月的多年大量个例进行合成分析，从大量个例以及合成分析的角度来探讨NIOTS从总体上对东亚大气环流产生的影响。分析表明不同月份的风暴活动都对下游产生了较为显著的影响，主要体现在经向环流的增强以及低层涡度的发展上。

从分析结果来看,不同气压层上下游对风暴活动的响应有相似性,表现为经向环流在 200hPa 上的增强最显著,其次是 500hPa,最差的是 1000hPa。而在上层环流发展的同时,低层 1000hPa 的正涡度也得到了发展。这是因为热带风暴是通过上层出流与中纬度急流相互作用,在上层中纬度急流上激发波列并向下游传播,在传播的同时又引起底层系统发展的结果。从经向指数的区域分布来看,下游影响最显著的是日本和日本以东、库页岛附近地区,其次是东北、蒙古。

由于大气环流背景的不同以及一些客观因素的存在,上游风暴对下游影响的程度也有所不同。从不同月份指数峰值出现的时间来看,5月指数最大值出现更早,且出现在风暴越过 20° N 附近,7、8月、9月则依次推后。在影响区域上 7、8、9月也相对于 5月略有偏北。从不同月份的对比来看,5月风暴的下游影响最显著,7、8月次之,其后是 9月。

5月的风暴生成位置偏南,路径偏北,与东亚的距离更近,加上风暴主要在海上活动,风暴强度较强,衰减慢,因此对下游的影响也就更快更强;而 7、8、9三个月的风暴生成位置偏北,且生成之后马上登陆向西移动,因此其与东亚的距离随时间拉远,加上登陆之后衰减加快,风暴对下游的影响更弱,传播时间也会比 5月的慢。而之所以有这样的路径,跟不同月份的环流背景有很大的联系。

由于 5月份印度洋区域还没有转变为印度夏季风环流,阿拉伯海处引导气流偏北,孟加拉湾处引导气流由西北向转为西南向,所以在孟湾风暴生成后,大多数会沿引导气流向东北方向移动,与东亚的距离也随时间拉近;而 7、8月、9月已经是典型的夏季风环流,印度次大陆及周边为偏西气流,所以风暴的路径偏西,与东亚的距离随时间拉远。因此,季节环流背景的不同,也是造成下游影响程度不同的一个重要因素。

四、结论

本文选取 5月、7、8月以及 9月的多年大量个例进行合成处理,分别对经向环流指数以及涡度的时间和空间上的变化情况进行了综合分析,探讨不同环流背景下北印度洋热带风暴活动(本文主要研究对象为孟加拉湾风暴)对下游区域(东亚, 20~60° N, 110~160° E)

产生的影响异同。主要得到以下结论:

(1) 不同月份的风暴活动都对下游产生了较为显著的影响,主要体现在经向环流的增强以及低层涡度的发展上,且这种影响会随着风暴的北移而发生改变。

(2) 不同气压层上受到的影响也不同,其中最显著的是 200hPa,也就是上层,其次是 500hPa,受影响最小的是 1000hPa。这一现象验证了北印度洋风暴活动主要通过热带气旋上层出流与中纬度环流相互作用,在中纬度急流上激发 Rossby 波裂并向下游传播,使得下游经向环流增强。而上层环流的发展又会通过上下层的耦合作用引起低层的系统发展。

(3) 从月份的对比分析上,5月风暴引起的下游影响最显著,7、8月次之,其后是 9月;上游对下游的最大影响出现在风暴越过 20° N 后;5月下游经向指数峰值小出现时间较 7、8、9月的早,造成这种影响的不同与风暴的路径有关。而不同季节背景环流的差异影响了风暴的移动路径,是造成风暴对下游影响变化差异的根本因素。

参考文献:

[1] 谢建斌,万纬祺,冯兴如,尹宝树,刘亚豪.北印度洋风暴潮特征及其对气候信号的响应研究[J].海洋与湖沼,2022,53(05):1045-1053.

[2] Grams C M, Blumer S R. European high-impact weather caused by the downstream response to the extratropical transition of North Atlantic Hurricane Katia (2011)[J]. Geophysical Research Letters, 2016, 42(20):8738-8748.

[3] 雷小途,陈联寿.热带气旋与中纬度环流系统相互作用的研究进展[J].热带气象学报,2001(04):452-461.

[4] 霍也,陈华.热带气旋的温带变性过程对下游影响的研究进展[J].热带气象学报,2017,33(04):568-576.

[5] 陈华,霍也.台风变性过程中下游环流发展的个例对比研究[J].地球科学进展,2016,31(04):409-421.

[6] 陈艳秋,潘益农.热带气旋变性问题的研究进展[J].南京大学学报(自然科学版),2007(06):670-680.

作者信息:曾鹿(2000.06-)汉族,海南人,本科学历,主要研究方向:海洋技术,遥感技术,环境科学