

尹浩, 王咏青, 钟玮. 西北太平洋不同路径下热带气旋快速加强统计特征及影响因子分析. 气象科学 2016, 36(2): 194-202.
YIN Hao, WANG Yongqing, ZHONG Wei. Characteristics and influence factors of the rapid intensification of tropical cyclone with different tracks in Northwest Pacific. Journal of the Meteorological Sciences, 2016, 36(2): 194-202. doi: 10.3969/2015jms.0035

西北太平洋不同路径下热带气旋快速加强 统计特征及影响因子分析

尹浩^{1,2} 王咏青^{1,2} 钟玮³

(1 南京信息工程大学 太平洋台风研究中心, 南京 210044; 2 南京信息工程大学 大气科学学院, 南京 210044;

3 解放军理工大学 气象海洋学院, 南京 211101)

摘要 利用2002—2011年JTWC最佳路径资料和NCEP的 $1^\circ \times 1^\circ$ 全球最终分析资料以及热带气旋年鉴, 分析了西北太平洋不同路径下热带气旋(TC)快速加强(RI)的时空分布特征, 并对不同路径下快速加强(RITC)和缓慢加强(Non-RITC)两组TC进行合成分析和对比分析。结果表明: 转向路径发生RI频率最大, 且转向路径中西转向的TC最易发生RI过程; 其次是东北和西北行路径。在时间分布上, 各个路径下RI的月际和日变化具有不同的位相分布特征; 在空间分布上, 大多数RI过程发生在菲律宾和台湾岛以东洋面, 西行路径在南海北部也出现较多RI过程, 转向路径RI过程多发生在转向处。各个路径下RITC与Non-RITC环境场存在较明显差异, RITC对流层上层的南亚高压相对较弱, 中低层副高相对较强, 对流层低层存在较大的相对湿度, 且湿度大值区域位于TC移动方向前侧。不同路径下的快速加强的环境影响因素也有所不同。

关键词 热带气旋; 突然加强; 缓慢加强; 统计特征; 合成分析

分类号: P444

doi: 10.3969/2015jms.0035

文献标识码: A

Characteristics and influence factors of the rapid intensification of tropical cyclone with different tracks in Northwest Pacific

YIN Hao^{1,2}, WANG Yongqing^{1,2}, ZHONG Wei³

(1 Pacific Typhoon Research Center, NUIST, Nanjing 210044, China;

2 School of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044, China;

3 Institute of Meteorology and Ocean, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China)

Abstract The best track datasets of JTWC and typhoons yearbooks for the past decades (2002–2011) in Northwestern Pacific are used to study the statistical characteristics of the rapid intensification (RI) of tropical cyclones (TCs) with different tracks. The different effects of the environmental factors between the RITCs and slow deepening tropical cyclones (Non-RITCs) are analyzed by using the dynamic composite analysis technique with the NCEP FNL data. It is showed that the probability of RI reaches the maximum when the TC track is turning (especially turning with the angle between $120^\circ \sim 125^\circ$). Then the northeastward and northwestward tracks follow in second and third position. There are differences of value and phase distribution in monthly and daily variations of RI among different tracks. And the east of Philippines and Taiwan Island is the region where TC rapid intensification is most likely to occur. If TC

收稿日期(Received): 2014-10-21; 修改稿日期(Revised): 2015-04-09; 网络出版日期(Published on-line): 2016-05-24

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1243.P.20160523.1719.034.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41275002和41175054), 灾害天气国家重点实验室开放课题(2014LASW-B08), 江苏省高校自然科学研究重大项目(14KJA170005), 江苏省“333高层次人才培养工程”

通信作者(Corresponding author): 钟玮(ZHONG Wei). wzhong_vivian@126.com

moves westward, some RI processes can also appear in the northern South China Sea. The statistics also indicate that once a TC takes a turning track, it often intensifies rapidly at its turning point. The environment fields of RITC and Non-RITC are dramatically different. The RITCs show the larger lower-level relative humidity in front of the moving direction. In contrast with Non-RITC, the South Asia high, which influences the RITC, is much weaker. The strength of subtropical high is strong. Differences of environmental effects are found among the RITCs with different tracks.

Key words Tropical cyclone; Rapid intensification; Slow deepening; Statistical characteristics; composite analysis

引 言

我国是受热带气旋(TC)影响最严重的国家之一,这种极端天气受到各级政府和广大公众的高度关注。目前TC路径预报准确率有较大幅度的提高,而强度预报方面的发展还比较滞后^[1]。不少学者统计分析了西北太平洋热带气旋强度变化的地理和时间分布规律,并给出了一些快速加强的标准^[2-4]。同时,也有细化到某一区域的研究^[5-6]。

除了上述统计工作外,大量研究主要集中在对影响TC强度变化的因子分析中。影响TC强度变化的因子大致可以分为三类:TC本身的内部结构变化(TC的眼壁特征、对流的非对称分布等);环境气流(水平、垂直切变)与台风环流的相互作用;下垫面(海洋、地形)与台风环流的相互作用^[7]。DeMaria, et al^[8]用TC高空的涡动角动量通量的大小来判断TC是否与槽相互作用,并将高空槽分为有利于TC增强的槽和不利于TC增强的槽。寿绍文等^[9]对比分析了5个台风的平缓演变阶段和爆发性发展阶段的环境场,认为台风爆发性发展时刻副热带高压、低空辐合和高层辐散均增强。雷小途等^[10]建立了有无大尺度环境场作用的热带气旋强度变化的方程式,来说明大尺度环境场的作用。余晖等^[11]指出我国近海热带气旋强度突变过程中热带气旋外流与对流层上部环境流场之间的相互作用可能起着重要的作用。胡春梅等^[12]研究了华南地区TC登陆前强度突变的大尺度环境场,发现突然增强TC的低空有明显的西南气流卷入,低空辐合、高空辐散均较强且水汽输送充足;而突然减弱TC的西南气流很弱,低层辐合较弱,高层辐散不明显。季亮等^[13]发现200 hPa净辐散值对TC中心气压变化有预示作用。于玉斌等^[14]对中国近海迅速增强和迅速减弱的TC进行对比分析指出,南亚高压、副热带高压的强度变化与近海TC强度变化呈反相关关系,TC增强过程中风垂直切变逐渐减弱,而在迅速

减弱过程中逐渐增强,相对涡度的垂直切变在TC增强时减小,在迅速增强时刻最小。于润玲等^[15]的研究表明:强的水汽输送及流入,高层外流辐散较强都有利于TC迅速加强;而弱的水汽输送及流入,弱的高层外流辐散将导致TC迅速减弱。

上述研究说明对流层高层环境流场、副热带高压、对流层低层相对湿度、环境风垂直切变等大尺度环境因子对TC强度变化有较强影响,但对于哪些环境因子更重要及各因子的作用还存在一定分歧。并且之前的研究多数是通过对比快速加强和快速减弱TC的环境场差异,找出有利于TC强度突变的环境因子,而针对快速加强TC(RITC)和缓慢加强TC(Non-RITC)的环境场差异性的研究还较少。

另一方面,TC的运动受到各种复杂因素影响,实践表明牵引运动至关重要且不同路径下的TC所对应的大尺度环境场有明显差异,因此在合成分析中为了排除由路径不同而产生的环境场差异性,将首先对TC进行路径分类,再分析各路径下的环境因子,希望为TC的强度预报提供一定依据。

1 资料与方法

根据美国联合台风警报中心(JTWC)提供的西北太平洋2002—2011年10 a的最佳路径资料。将JTWC资料中未达到热带风暴(TS)级别的个例剔除,TC总数达234个。

根据中国气象局整编的《热带气旋年鉴》中的标准,将234个TC的路径进行了分类。本文重点关注热带气旋的快速加强过程,因此不考虑其登陆之后转向或登陆后回旋等路径问题。可以将台风路径划分为转向路径(东转向、中转向、西转向、南海转向)、西北行路径(西北行、西北行登陆后转向)、西行路径(西行、西行登陆后转向或回旋)、东北行路径和特殊路径(北上、西行北上、回旋)。转向路径的定义如下:东转向为140°E以东转向,中转向为东经125~140°E转向,西转向为120~125°E转

向南海转向为在南海海面或台湾海峡转向。由于北上、西行北上、回旋的个例较少故将其划分到特殊路径中,以下不做详细分析。

本文采用 Holliday, et al^[2] 定义的 RI 标准: 24 h 降压超过 42 hPa。在 TC 生命史中,每隔 6 h 计算一次随后 24 h 变压,若变压达到 RI 标准则将该时刻作为一次 RI 过程的初始时刻,计为一次 RI 过程;另外若变压 ≤ 0 但未能达到 RI 标准,则认为该时刻为一次 Non-RI 过程的初始时刻,定义 Non-RI 过程为缓慢加强过程。若某一 TC 在生命史中出现过 RI 过程,则称该 TC 为 RITC;若生命史中的降压都未达到 RI 标准,则称之为 Non-RITC。依据该标准运用 JTWC 资料选取出 RITC 和 Non-RITC 两组 TC。将 RITC 发生快速加强的初始时刻与 Non-RITC 的缓慢加强时刻进行合成对比分析,其中缓慢加强时刻选取 Non-RITC 强度增强阶段 TC 等级达到 TS,且该时刻 TC 位置与 RITC 发生 RI 过程时 TC 位置相近(2~5 个经纬度之内)的时刻。

在众多不同路径的 TC 中,西北、西行和西转向路径的 TC 对我国沿海影响较大,并受到广泛关注,因此文中合成分析部分仅列出了这 3 类路径的分析结果。本文合成分析部分选取的 TC 个例如下:西北路径下 RITC 为 0212、0309、0608、0713 和 0926 号 TC,Non-RITC 为 0223、0308、0416、0516、0607、0809、0916、1004 和 1117 号 TC;西行路径下 RITC 为 0222、0505、0618 和 0624 号,Non-RITC 为 0218、0412、0508、0610、0715、0810、0908、1012 和 1120 号;西转向路径的 RITC 为 0302、0404 和 0425 号,Non-RITC 为 0324、0922 和 1008 号。

文中采用的合成分析方法是在伴随 TC 运动坐标系内,以各时刻 TC 中心所在位置为原点,对某一时刻和区域坐标点,求取物理量的平均值。这样可避免简单的算术平均合成所引起的信息平滑问题,从而能相对完整的保留 TC 环流系统。所用资料是由美国国家环境预报中心(NCEP)和美国国家大气研究中心(NCAR)提供的 FNL 全球分析资料(Final Operational Global Analysis),该资料时间间隔为 6 h,分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 。

2 快速加强的统计特征

2.1 TC 发生 RI 过程的频率和 RI 的区域分布特征

根据 RI 标准,234 个 TC 中出现 RI 过程的 TC 数为 113 个,RI 发生频率达 48.3%。将 TC 进行路

径分类后统计发现(见表 1)转折路径发生 RI 的相对频率最高,达到 65.9%,其次是东北路径和西行路径,频率分别为 44% 和 43.5%。进一步对转向路径进行细致地统计分析发现:西转向路径的 TC 发生 RI 频率达到 80%(12/15),是转向路径中最容易发生 RI 过程的,其次是中转向、南海转向的 TC 发生 RI 的频率为 50%,东转向只有 30%。

表 1 各路径下的 TC 统计特征量

Table 1 Statistical features of different tracks of TC

路径分类		TC 个数		RITC 个数		RI 相对频率	
		234		113		48. 3% (113 /234)	
转向	西转向	15		12			
	中转向	44	85	35	56	65. 9% (56 /85)	
	东转向	20		6			
	南海转向	6		3			
西北		52		16	30. 8% (16 /52)		
西行		46		20	43. 5% (20 /46)		
东北		25		11	44. 0% (11 /25)		
特殊		26		10	38. 5% (10 /26)		

将西北太平洋区域分成 $2^\circ \times 2^\circ$ 的经纬度小网格,统计不同路径下各个网格内发生 RI 过程的频数(见图 1)发现:转折路径下 RI 过程多数发生在 TC 转折处附近,大致分布在 ($10 \sim 24^\circ \text{N}$, $120 \sim 156^\circ \text{E}$) 范围内;西北行路径下多次 RI 过程发生在 ($10 \sim 12^\circ \text{N}$ 和 $20 \sim 24^\circ \text{N}$),距离陆地 12 个经度之内的范围;相比于其他路径,西行路径中 RI 过程除了能够出现在台湾岛及菲律宾以东洋面附近,更值得关注的是南海北部也出现了较多的 RI 过程,对我国海南广东等省份有较强的影响;而东北行路径发生 RI 过程主要是在 TC 初始阶段,位置与之前路径的情况大体一致。各个路径下发生 RI 区域有所差别,但综上所述发生 RI 过程的主要区域基本集中在菲律宾、台湾岛以东洋面及南海北部,与于玉斌等^[12]的结果相吻合。

2.2 RI 的时间分布特征

据统计 2002—2011 的 10 a 中平均每年有 TC 23.4 个,其中 11.3 个 TC 出现 RI 过程,RI 的次数达到 29.8 次。从图 2a 中的 TC 总个数随年份的变化曲线(黑色实线)可以看出,2004 年 TC 个数最多(31 个),2010 年 TC 只有 13 个,2007 年后 TC 个数明显偏少,不超过平均值,TC 总个数呈减少趋势。各路径下 TC 个数的年际分布(图 2a)显示西转向、

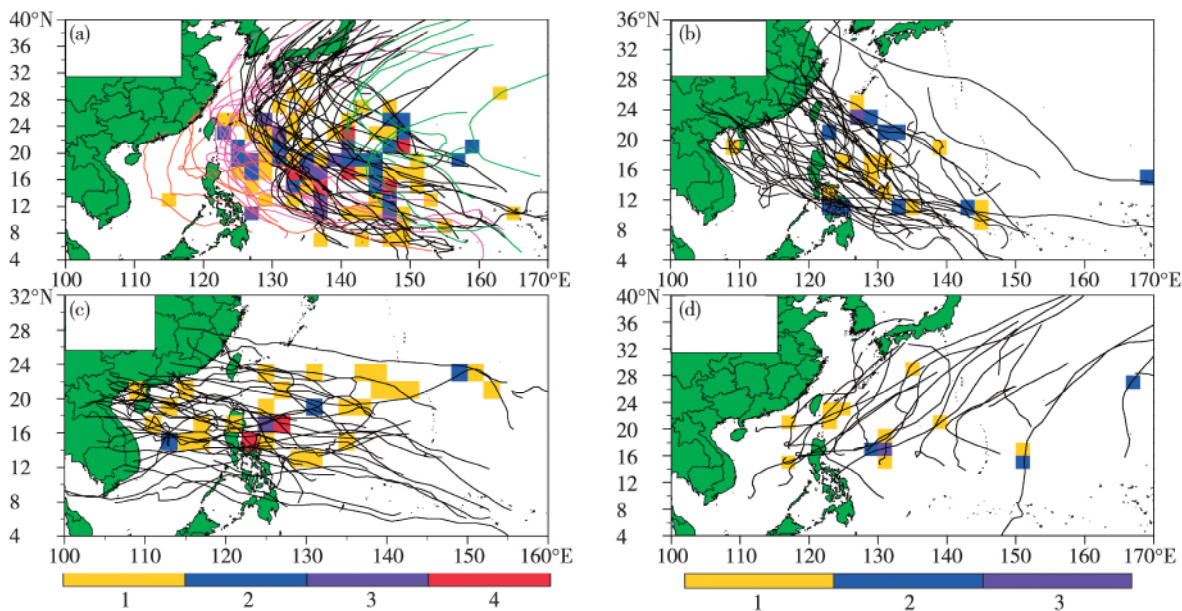


图1 转向(a)、西北(b)、西行(c)及东北(d)路径下RI次数的区域分布及TC路径
(每小格代表 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 区域,该区域发生RI的次数用相应颜色表示)
Fig.1 Areas where TC intensified rapidly in different TC tracks
(each grid is $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ and the number of RI in grid is represented by different colors)

东转向和南海转向 TC 个数呈现小幅波动,而中转向及西北行的 TC 个数有逐渐减少的趋势,相反西行路径的 TC 个数却表现出略微增加趋势。图 2b 中黑色实线为 RI 总次数的年际变化曲线,RI 总次数表现出下降趋势,与 TC 总个数的减少相呼应;图 2b 中各路径下 RI 次数的年际分布曲线基本呈一种波动状态,并出现减小趋势,尤以中转向路径最为明显。

图 3a 为各路径下 RI 次数的月际分布图,从图中可以看出各路径下 RI 次数分布存在一定差异性。中转向及东转向路径下 RI 次数月际变化为单峰曲线,峰值分别出现在 8 月和 10 月;其余路径下 RI 次数的月际变化曲线皆存在双峰值,且出现月份有所

差别。西转向、南海转向及东北行在 5 月都出现一个峰值,另一个峰值西转向出现在 9 月,而南海转向和东北行路径则出现在 10 月;西北行和西行路径在 11 月出现峰值外,还分别在 8、9 月存在峰值。所有路径下 RI 次数月际分布特征来看 9 月出现 RI 次数最多,12—3 月几乎不存在 RI 过程(图略)。

图 3b 为 RI 次数的日变化图,南海转向、东北行和特殊路径在 06 时(世界时,下同)较易发生 RI 过程,其余路径的 RI 过程基本发生在 00 时和 18 时。

为了对 TC 发生快速加强的阶段有更客观准确的认知,我们统计了发生 RI 时 TC 的强度等级分布(见图 4),发现各路径下情况比较一致。75.6% 的 RI 过程发生在台风(TY)阶段,其次是热带风暴

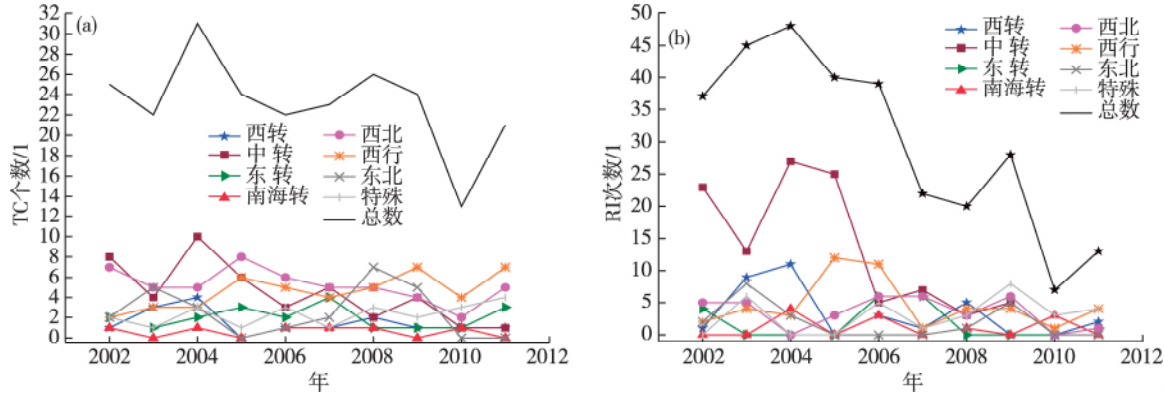


图2 TC 个数(a)和 RI 次数(b)的年际变化
(黑色实线表示所有路径的总数;彩色实线表示各个路径的情况)

Fig.2 Annual variation of the numbers of TC (a) and RI (b) (Black solid lines represent the total number, color solid lines represent different tracks)

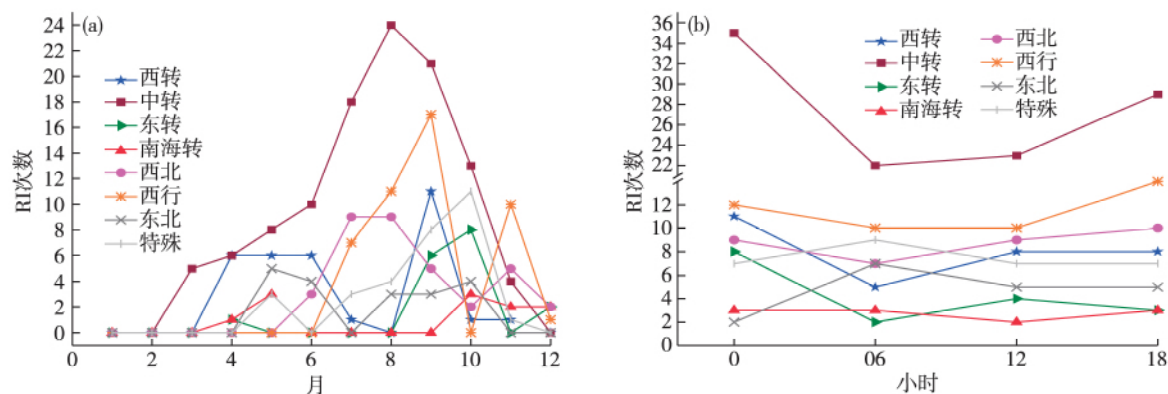


图3 各路径下 RI 次数的月际分布 (a) 和日变化 (b)
Fig. 3 Monthly (a) and daily variations of the numbers of RI in different tracks (b)

(TS) 阶段,有 53 次 RI 过程,占总 RI 个数的 17.7%。在超强台风(ST)阶段仍有 12 次 RI 过程。而在 TC 初始阶段,比如 DB、TD 阶段,RI 个数还是比较少的。

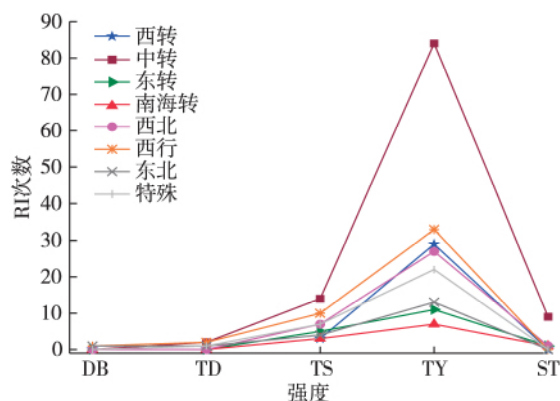


图4 各路径的不同 TC 强度下 RI 的次数
Fig. 4 Number of RI in different intensity of each path of TC

3 环境因素的对比分析

3.1 动力因子(垂直风切变和高层辐散)

大尺度环流形势的调整及其与 TC 本体环流的相互作用是导致 TC 强度变化的重要原因之一。从图 5 可以发现对流层上层 200 hPa 的影响系统主要是南亚高压,各路径下的 TC 均处于南亚高压主体的东南侧,受偏东气流影响,环流形式较一致。对流层低层主要受副热带高压的影响,TC 位于副高西南侧(如图 6)。对比 RITC 与 Non-RITC 的情况可以发现:西北路径下 Non-RITC 中南亚高压范围较大,图中高压中心偏西,强度达到 12 520 gpm,而 RITC 中高压强度仅为 12 500 gpm;西行路径下 Non-RITC 中南亚高压的 12 480 gpm 等高线呈带状分布,TC 紧压该等高线,而 RITC 中 12 480 gpm 等高线出现断裂,TC 处于 12 460 gpm 等高线上;西转路径下 RITC 中并未出现 12

480 gpm 等高线,高压强度较弱,而 Non-RITC 中南亚高压较强。从图 6 中可以看出 RITC 的副高主体强度均强于 Non-RITC。研究表明,各路径下 RITC 在发生快速加强时刻南亚高压的强度均弱于 Non-RITC,副高主体的强度则强于 Non-RITC,说明南亚高压与副高强度对于 TC 发展过程的 RI 出现具有关键性的影响^[9,12-15]。初步分析认为 RITC 在 200 hPa 层存在较弱的南亚高压,850 hPa 存在较强的副高,这种“上弱下强”的配置不仅有利于流出层的气流流出,同时不至于造成过强的环境风垂直切变,因此对 TC 的快速加强过程有利。

但不同的 TC 具有其独特的内外部结构和环境,因此其影响因子的相对作用是不确定的。下面将对不同路径下 RITC 与 Non-RITC 的环境风切变及高层辐散情况进行对比分析。这里求垂直风切变的方法为:以 TC 为中心选取 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ 的网格,先计算 200 hPa 与 850 hPa 两个层次环境风场各格点上的平均值 $\sqrt{(u_{200} - u_{850})^2 + (v_{200} - v_{850})^2}$,再求 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ 区域内的平均值。高层散度的计算也是求取 200 hPa 层以 TC 为中心的 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ 网格内的散度平均值。

环境风垂直风切变是热带气旋强度变化的关键外部动力因子^[16],弱的环境风垂直切变是 TC 生成的必要条件,有利于初生阶段 TC 暖心维持和能量聚集^[17],对于发展至较成熟阶段的 TC 适中的环境切变有益于高低空抽吸作用,从而对 TC 的发展和维持有利^[18]。谢礼江等^[19]研究指出垂直风切变超过 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,只有 11.1% 的 TC 可以发生快速加强。另外高层辐散强度的增大也是 TC 快速加强的重要原因。表 2 给出了各路径下 RITC 和 Non-RITC 垂直风切变及高层辐散值,对比不同路径下 RITC 与 Non-RITC 发现:西北路径下虽然 Non-RITC 的高层辐散较强,但风切变值大于 RITC,且超过了 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;

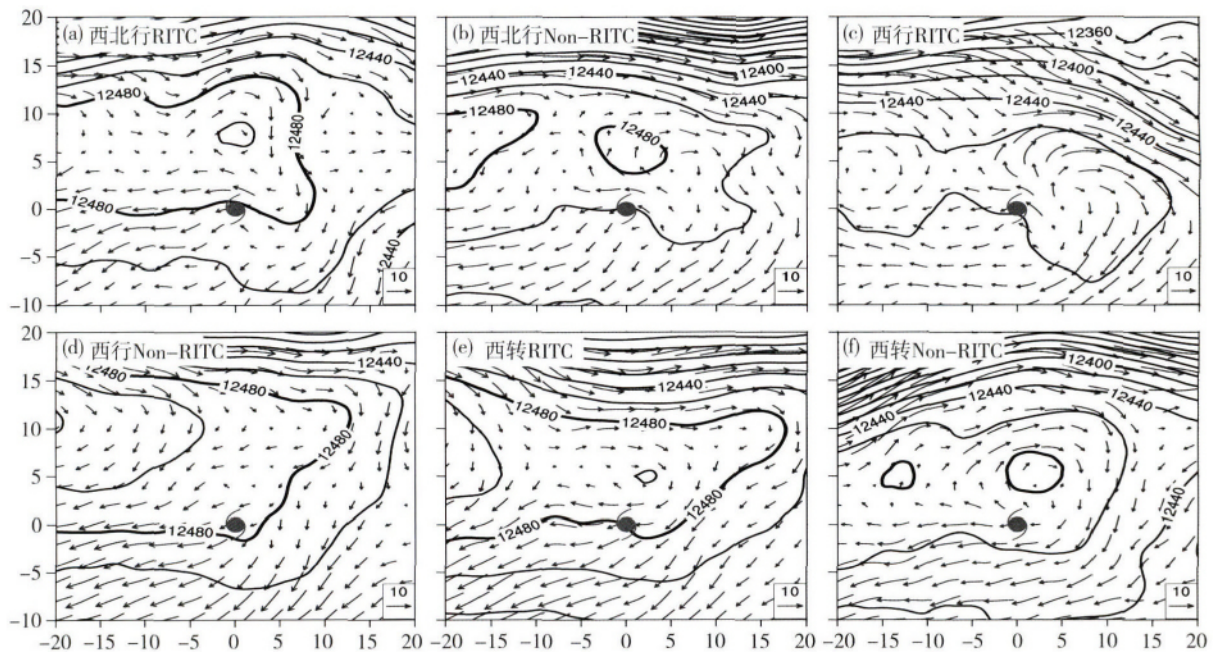


图5 不同路径下 RITC(a-c) 和 Non-RITC(d-f) 的 200 hPa 高度场(实线, 单位: gpm, 间隔 20) 及风场(箭头, 单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
(a, d 为西北行; b, e 为西行; c, f 为西转; 台风图标表示 TC 中心位置)

Fig.5 Composite 200 hPa height (solid lines, units: gpm, 20 gpm interval) and wind vector at 200 hPa (arrows, units: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) for RITC (a-c) and Non-RITC (d-f) of different tracks (a&d, b&e, c&f are related to northwest, west and west turning tracks; typhoon mark represents the center of TC)

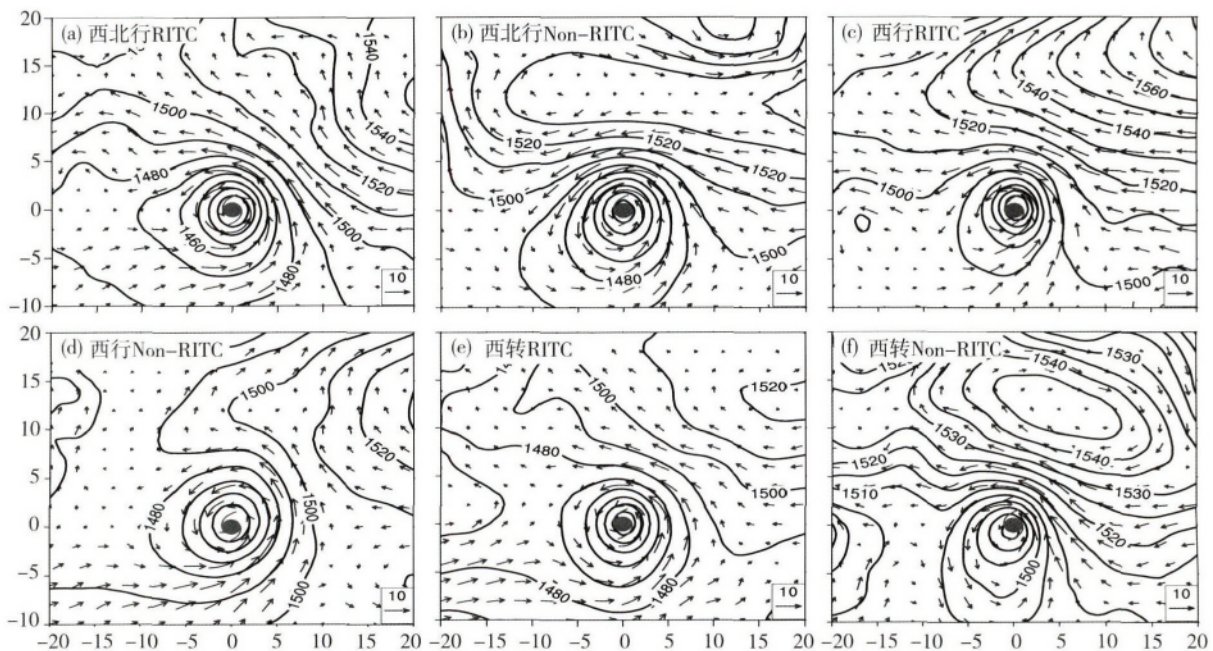


图6 同图5, 但为 850 hPa 高度场及风场

Fig.6 Same as in Fig.5, but for height and wind vector at 850 hPa

西行路径下 Non-RITC 的垂直风切变超过 $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 且高层辐散较小, 而 RITC 拥有较小的垂直风切变和较强的高层辐散; 西转路径下 RITC 及 Non-RITC 的风切变皆小于 $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, RITC 的风切变值反而略大于 Non-RITC, 该情况下仍能发生快速加强过程, 可能是其他因子起着相对重要的作用, RITC

的高层辐散就明显强于 Non-RITC。

综合对比风切变与高层辐散这两个影响因子, 分析认为西北路径下 RITC 受风切变影响较大, 西行路径下风切变与高层辐散都相对重要, 西转路径 RITC 主要受高层辐散影响。当然这里只是初步分析, 具体的风切变及高层辐散阈值等问题还有待进

一步的统计分析研究。

表2 各路径下的 RITC 与 Non-RITC 垂直风切变及高层辐散值
Table 2 The value of vertical wind shear and upper-level divergence for different tracks

	西北		西行		西转	
	RITC	Non-RITC	RITC	Non-RITC	RITC	Non-RITC
风切变 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	11.14	12.34	10.58	12.70	11.53	11.26
辐散值 ($\times 10^{-6}\text{s}^{-1}$)	5.52	9.37	9.28	6.86	11.57	7.39

3.2 水汽因子

TC 作为热机 其主要的能源来自水汽凝结释放

的潜热。朱伟军等^[20]指出在西北太平洋水汽通量散度与 TC 生成频数呈显著负相关。多数研究表明低层的水汽输送,有利于 TC 的发展和维持^[21]。可见水汽与 TC 的生成和强度变化关系十分密切。

图 7 为各路径下 RITC 及 Non-RITC 的 850 hPa 相对湿度场,以及 RITC 与 Non-RITC 相对湿度的差值图(RITC 减去 Non-RITC)。从图中可以看出无论哪种路径下 TC 环境的水汽分布都是非均匀,RITC 的相对湿度明显大于 Non-RITC,并且差值大值区域基本分布在其移动方向前侧。分析认为,由于 β 效应在 TC 原一级环流的基础上,形成了一对东负(反气旋)西正(气旋)偶极子次级环流^[10],当在 TC 移动方向一侧(即 TC 西侧)水汽含量较大时,在西侧

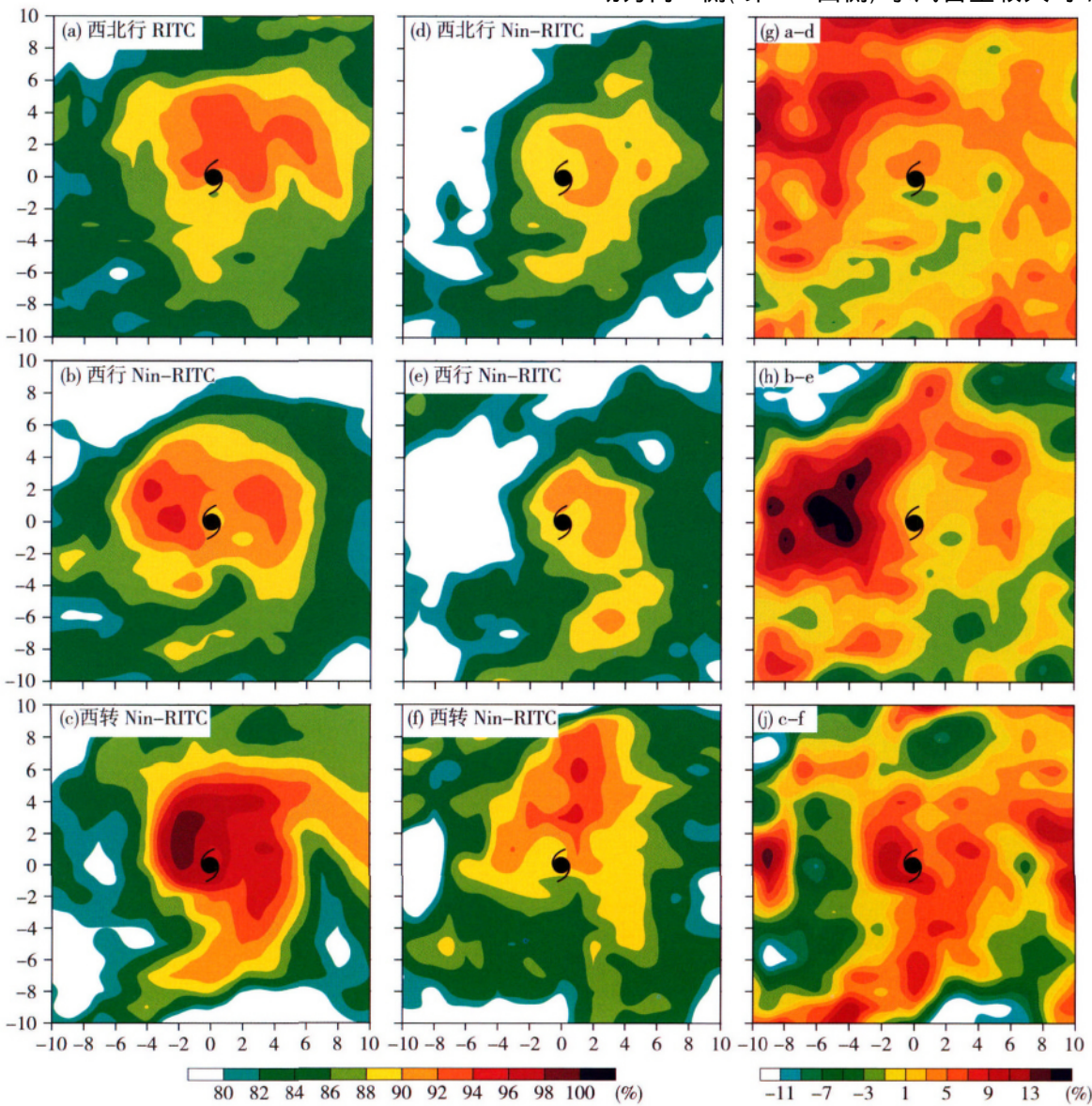


图7 同图5,但为 850 hPa 相对湿度场(彩色阴影,单位:%)。最右列为 RITC 与 Non-RITC 相对湿度差值图(RITC 减去 Non-RITC)
Fig.7 Same as in Fig.5, but for relative humidity at 850hPa (shaded, units: %) and the right column shows the RH fields difference between RITC and Non-RITC

次级环流的作用下有利于对流的发生,水汽上升凝结释放潜热,为 TC 发展提供能量。

综合以上,RITC 的相对湿度总体大于 Non-RITC,尤其在 TC 移动方向一侧。相对湿度因子对 TC 发生快速加强过程有重要影响。

4 结论与讨论

本文选取 2002—2011 年西北太平洋 TC,经过路径分类后统计分析各路径下 RI 的时空分布,并对比分析 RITC 和 Non-RITC 环境场及不同路径下 RITC 环境场的差异性,结果表明:

(1) 2002—2011 平均每年有 TC 23.4 个,11.3 个出现 RI 过程,TC 发生 RI 的频率达到 48.3%,又以转向路径发生的频率最高,其次是东北、西北行及其他路径。转向路径中的西转向 TC 发生 RI 频率最大,达 80%。

(2) 近 10 a TC 总数呈现减小的趋势,其中中转向和西北行 TC 数减少,而西行路径 TC 数却在增多,其他路径的 TC 数处于波动状态。各路径下 RI 次数的年际分布并无明显差异,都表现出减小趋势;月际分布表明中转向和东转向 RI 次数呈现单峰分布,其他路径皆是双峰分布,峰值出现月份有所差别;日变化显示南海转向、东北行和特殊路径在世界上 06 时易发生 RI 过程,其他路径 RI 过程基本发生在 00 和 18 时;各路径下 RI 过程都基本发生在 TY 阶段和 TS 阶段。

(3) 折向路径在转向处最易发生 RI 过程,西行路径在南海北部也易出现较多 RI 过程。RI 过程频发区基本出现在(10~24°N,120~142°E)的范围内,具体区域分布在菲律宾以东和台湾岛以东洋面,南海北部区域。

(4) 对比 RITC 与 Non-RITC 发现,RITC 对流层上层的南亚高压相对较弱,中低层副高相对较强,对流层低层存在较大的相对湿度,且湿度大值区域位于 TC 移动方向前侧。各个路径下的对比分析可知水汽因子是 TC 发生快速加强的重要因子,而垂直风切变和高层辐散的相对重要性,各个路径有所不同。

通过路径分类后的统计与合成分析结果,我们发现各个路径下 RITC 与 Non-RITC 环境场存在较明显的差异性,各个路径下发生快速加强的影响因素也有所不同。从本文可以发现低层相对湿度在快速加强和缓慢加强时刻差异性较大,有待更深入地研究。因此下一步工作,将考虑快速加强与缓慢加

强过程中水汽因子的差异性。

参 考 文 献

- [1] 陈国民,曹庆. 2013 年西北太平洋热带气旋预报精度评定. 气象,2014,40(12): 1549-1557.
CHEN Guomin, CAO Qing. Verification on forecasts of tropical cyclones over western North Pacific in 2013. Meteorological Monthly (in Chinese), 2014, 40(12): 1549-1557.
- [2] Holliday C R, Thompson A H. Climatological characteristics of rapidly intensifying typhoons. Mon. Wea. Rev., 1979, 107(8): 1022-1034.
- [3] 余晖,端义宏. 西北太平洋热带气旋强度变化的统计特征. 气象学报,2002,60(6): 680-687.
YU Hui, DUAN Yihong. A statistical analysis on intensity change of tropical cyclone over northwestern Pacific. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 2002, 60(6): 680-687.
- [4] 于玉斌,姚秀萍. 西北太平洋热带气旋强度变化的统计特征. 热带气象学报,2006,22(6): 521-526.
YU Yubin, YAO Xiuping. A statistical analysis on intensity change of tropical cyclone over the western North Pacific. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 2006, 22(6): 521-526.
- [5] 梁军,陈联寿. 影响辽东半岛热带气旋运动、强度和影响的特征. 热带气象学报,2005,21(4): 410-419.
LIANG Jun, CHEN Lianshou. Motion and intensity and impact characteristics of tropical cyclone affecting the Liaodong peninsula. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 2005, 21(4): 410-419.
- [6] 陈玉林,周军,马奋华. 登陆我国台风研究概述. 气象科学,2005,25(3): 319-329.
CHEN Yulin, ZHOU Jun, MA Fenhua. Recent progress of study on China landfalling typhoons. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 2005, 25(3): 319-329.
- [7] 端义宏,余晖,伍荣生. 热带气旋强度变化研究进展. 气象学报,2005,63(5): 636-645.
DUAN Yihong, YU Hui, WU Rongsheng. Review of the research in the intensity change of tropical cyclone. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 2005, 63(5): 636-645.
- [8] DeMaria M, Kaplan J, Baik J J. Upper-level eddy angular momentum fluxes and tropical cyclone intensity change. J. Atmos. Sci., 1993, 50: 1133-1147.
- [9] 寿绍文,姚秀萍. 爆发性发展台风合成环境场的诊断分析. 大气科学,1995,19(4): 487-493.
SHOU Shaowen, YAO Xiuping. A diagnostic study of the composite ambient fields of the explosively developing typhoons. Scientia Atmospherica Sinica (in Chinese), 1995, 19(4): 487-493.
- [10] 雷小途,陈联寿. 大尺度环境场对热带气旋影响的动力分析. 气象学报,2001,59(4): 429-439.
LEI Xiaotu, CHEN Lianshou. Dynamical studies on the effect of large-scale environmental flow on tropical cyclones. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 2001, 59(4): 429-439.
- [11] 余晖,费亮,端义宏. 8807 和 0008 登陆前的大尺度环境特征

- 与强度变化. 气象学报, 2002, 60(增刊): 78-87.
- YU Hui, FEI Liang, DUAN Yihong. The characteristics of large-scale environment and intensity change of 8807 and 0008 TC before landfall. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 2002, 60 (Supplement): 78-87.
- [12] 胡春梅, 端义宏, 余晖, 等. 华南地区热带气旋登陆前强度突变的大尺度环境诊断分析. 热带气象学报, 2005, 21(4): 377-382.
- HU Chunmei, DUAN Yihong, YU Hui, et al. The diagnostic analysis of the rapid change in tropical cyclones intensity before landfall in South China. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 2005, 21(4): 377-382.
- [13] 季亮, 费建芳, 黄小刚, 等. 台风"云娜"(2004)近海加强的数值模拟研究. 气象科学, 2007, 27(5): 530-535.
- JI Liang, FEI Jianfang, HUANG Xiaogang, et al. Numerical simulation of typhoon Rananim (2004) intensification. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 2007, 27(5): 530-535.
- [14] 于玉斌, 杨昌贤, 姚秀萍. 近海热带气旋强度突变的垂直结构特征分析. 大气科学, 2007, 31(5): 876-886.
- YU Yubin, YANG Changxian, YAO Xiuping. The vertical structure characteristics analysis on abrupt intensity change of tropical cyclone over the offshore of China. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2007, 31(5): 876-886.
- [15] 于润玲, 余晖, 端义宏. 登陆华南热带气旋强度变化与大尺度环流的关系. 大气科学学报, 2013, 36(5): 619-625.
- YUN Runling, YU Hui, DUAN Yihong. Relationship between intensity change of tropical cyclone landing in South China and large-scale circulation. Transactions of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2013, 36(5): 619-625.
- [16] ZENG Zhihua, WANG Yuqing, Wu C C. Environmental dynamical control of tropical cyclone intensity—An observational study. Mon. Wea. Rev., 2007, 135(1): 38-59.
- [17] 王伟, 余锦华. 东风和西风切变环境下西北太平洋热带气旋快速增强特征的对比. 大气科学学报, 2013, 36(3): 337-345.
- WANG Wei, YU Jinhua. Characteristic comparison between the rapid intensification of tropical cyclones in easterly and westerly wind shear over the Northwest Pacific. Transactions of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2013, 36(3): 337-345.
- [18] DeMaria M. The effect of vertical shear on tropical cyclone intensity change. J. Atmos. Sci., 1996, 53(14): 2076-2087.
- [19] 谢礼江, 邱新法, 王伟. 西北太平洋热带气旋快速增强与环境垂直风切变统计分析. 热带地理, 2013, 33(3): 242-249.
- XIE Lijiang, QIU Xinfu, WANG Wei. Rapid intensification of tropical cyclones and vertical wind shear over the Northwest-Pacific. Tropical Geography (in Chinese), 2013, 33(3): 242-249.
- [20] 朱伟军, 胡瑞卿, 徐明. 西北太平洋和南海不同时段生成热带气旋频数及其水汽条件的分类. 大气科学学报, 2014, 37(3): 344-353.
- ZHU Weijun, HU Ruiqing, XU Ming. Analysis on the frequency and water vapor condition for the formation of tropical cyclones over South China Sea and Northwest Pacific Ocean during different periods. Transactions of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2014, 37(3): 344-353.
- [21] 吴启树, 沈桐立, 苏银兰, 等. 2000 年第 10 号台风的水汽分析与试验. 气象科学, 2006, 26(4): 384-391.
- WU Qishu, SHEN Tongli, SU Yinlan, et al. Water vapor analyses and experiments of 0010 typhoon. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 2006, 26(4): 384-391.