

利用 TRMM 资料分析广西台风降水的分布特征

孙崇智¹, 覃皓²

(1. 广西壮族自治区气象服务中心, 广西南宁 530022; 2. 广西壮族自治区气象台, 广西南宁 530022)

摘要: 利用 1998—2019 年 TRMM 卫星估测的降水数据和台风最佳路径资料, 将影响广西的台风按照路径和强度进行分类, 结合傅里叶分解法, 研究分析不同类型台风降水的分布特征。结果表明: 1998—2019 年间影响广西的台风以西路型和中路型居多, 台风最大强度以热带风暴和强热带风暴级居多。除了偏南型路径的最大降水位于台风中心东北侧外, 其余路径下最大降水均位于台风中心的西南侧, 随着台风路径从西路型到东路型转变, 最大降水落区呈现出气旋性旋转特征。降水强度方面, 偏南型的降水率极值最大, 中路型最小。不同台风强度中, 降水率极值表现为强台风/超强台风级最大, 热带低压级最小。不同路径下台风的轴对称降水特征存在明显差异, 随着台风强度的增强, 轴对称降水极大值表现出增大的特征。

关键词: 台风降水; TRMM 资料; 台风路径; 分布特征

中图分类号: P444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2022)04-0047-12

1 引言

台风是最强的暴雨天气系统^[1]。1967 年 10 月 17—19 日, 台风“嘉娜”(6718)给中国台湾的新寮造成特大暴雨, 3 d 累积降水量达 2 749 mm, 日降水量高达 1 672 mm^[2]; 1975 年 8 月台风“妮娜”(7503)的日降水量极值 1 062 mm 出现在河南省驻马店地区的泌阳县林庄, 8 月 5—7 日过程总降水达 1 631 mm^[3]。2019 年超强台风“利奇马”登陆浙江温岭后北上, 浙江多地刷新过程雨量和 24 h 雨量纪录, 最大过程雨量 831 mm 出现在台州临海, 造成 71 人死亡或失踪, 直接经济损失超过 530 亿元^[4]。可见, 台风暴雨时常引发江河洪涝、城市内涝、山洪和泥石流等次生和衍生灾害, 造成惨重损失^[5]。因此, 台风降水问题, 尤其是登陆台风极端降水的空间分布问题一直受到我国气象学家们的重点关注。

广西地处亚热带地区, 南临北部湾, 台风是影响广西最重要的天气系统之一^[6]。台风降水的研究一直是广西气象工作者关注的焦点, 也是当地防灾

减灾避灾工作的重点。许多学者围绕广西台风降水与台风路径、台风强度、低空急流、弱冷空气活动和地形作用等多因素的关系开展了研究^[7-10]。覃丽等^[11]指出动力背景场的不对称分布是强降水位于台风南侧的重要因素, 垂直风切变矢量和水汽辐合条件是预报台风暴雨落区的有效判据。黄巾旗等^[12]认为偏南风急流和侵入冷空气对暖湿气流的抬升作用在有利地形的配合下容易形成“列车效应”, 对流活动得到发展从而使降水增强。黄莉等^[13]分析指出, 湿斜压项正值和湿正压项负值的中心重合区域是台风强降水分布的关键指示区。台风局地特大暴雨与地形增幅降水存在极为密切的联系^[14]。

上述台风降水的研究主要基于地面气象站点, 但由于气象站点分布不均, 特别是海上观测资料稀少, 难以全面细致地反映该地区降水的分布状况。1997 年开展的热带降水监测计划 (Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM) 发射了世界上第一颗搭载测雨雷达的卫星, 具有较高的时空分辨率^[15]。国内外在 TRMM 卫星的降水数据精度评价方面做了

收稿日期: 2021-09-16; 修回日期: 2021-12-27。

基金项目: 广西重点研发计划资助(任务书编号: 桂科 AB20159013)。

作者简介: 孙崇智(1976-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事气象预报技术与服务研究。E-mail: 234364900@qq.com

大量的研究^[16-17],结果表明 TRMM 降水数据与地面观测站点具有很好的一致性,其精度随着时间尺度的增大逐步提高。王新利等^[18]利用 TRMM 卫星资料分析了台风“桑美”的云系特征。卢怡等^[19-20]分析了 TRMM 卫星的微波成像仪观测到的亮温资料与台风最大风速的关系,并建立了一种自动估计台风强度的模型。崔林丽等^[21]结合大尺度形势场资料和 TRMM 3B42 降水资料分析了环流形势场与台风的路径、强度和降水特征之间的关系。丁伟钰等^[22]利用 TRMM 3B42 降水估测资料对 2002 年 3 个台风登陆广东前后的降水时空分布特征进行了研究。

上述研究从不同侧面加深了人们对台风暴雨的认识,有助于提高台风暴雨的业务预报水平,但大多数研究集中于台风个例。目前对于广西多样本台风降水的非对称差异分析还比较少,且未见 TRMM 卫星估测的降水资料在广西台风降水结构分析中的应用。本文利用 1998—2019 年 TRMM 卫星估测的降水数据和台风最佳路径资料,将影响广西的台风按照路径和强度进行分类,采用傅里叶分解法,研究分析了台风最大降水的分布特征,希望得出有意义的结论,为提高广西台风暴雨的预报准确性提供新的启示。

2 数据与方法

2.1 数据及估测台风降水的检验

数据包括两类:TRMM 卫星 3B42 第七版(v7)

的数据,时间分辨率 3 h,水平分辨率 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$,覆盖范围为 $50^{\circ}\text{S} \sim 50^{\circ}\text{N}$ 。台风路径和强度数据来源于中国气象局上海台风研究所的最佳路径资料集。

前人研究表明,TRMM 3B42 降水产品能较好地反映台风多发季潮湿地区的降水情况,在华南地区具有较好的适用性^[22-24]。本研究利用广西区域自动站数据对该产品进行对比验证。选取近十年来严重影响广西的登陆台风“威马逊”(1409)进行过程降雨量检验。由站点实测资料与 TRMM 数据的累计雨量分布对比可见,TRMM 数据能较好地反映降水的分布特征,雨量大值的中心位置和量级都有很好的对应(见图 1)。从不同时段的过程降雨量对比可见,TRMM 数据能反映出降水落区由广西沿海向北、向西推进的过程,以及过程后期降水主要集中在桂西地区的特点,在这个过程中降水量极值中心也与站点数据较为一致(见图 2)。

2.2 台风分类

在广西气象预报业务工作中,通常将中心进入 19°N 以北、 112°E 以西地区的台风定义为影响广西的台风^[25],并将登陆华南影响广西的台风路径划分为东路型、中路型和西路型 3 类^[26]。在 2020 年 11 月实施的广西地方标准《DB45/T2154—2020》中将影响广西的台风进一步定义为:当台风或减弱的低压中心进入广西台风影响区($19^{\circ} \sim 28^{\circ}\text{N}$, $104^{\circ} \sim 112^{\circ}\text{E}$),且广西国家气象站最大日降水量 $\geq 25\text{ mm}$

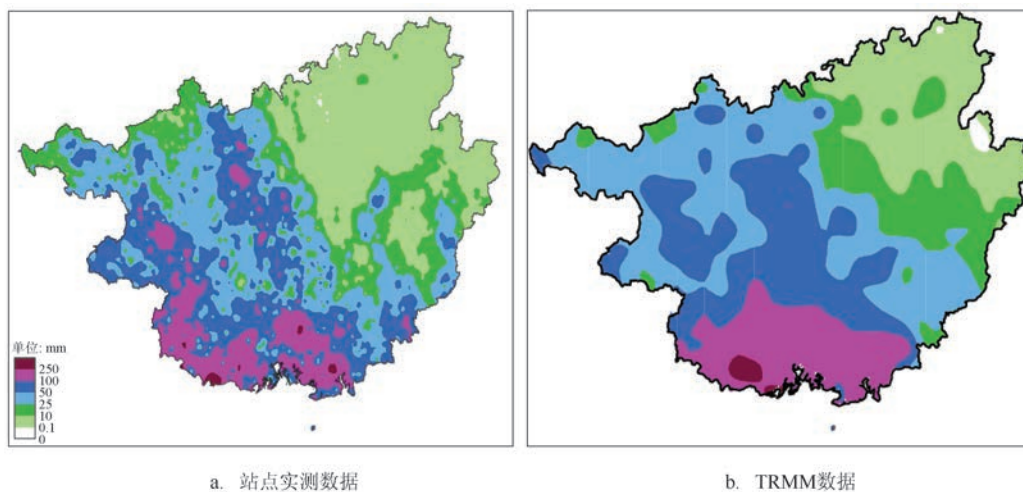


图 1 2014 年 7 月 18 日 20 时(北京时,下同)—20 日 20 时广西地区过程累计雨量(单位:mm)

Fig.1 The accumulated rainfall from 20:00 BT 18 Jul to 20:00 BT 20 Jul in Guangxi(unit: mm)

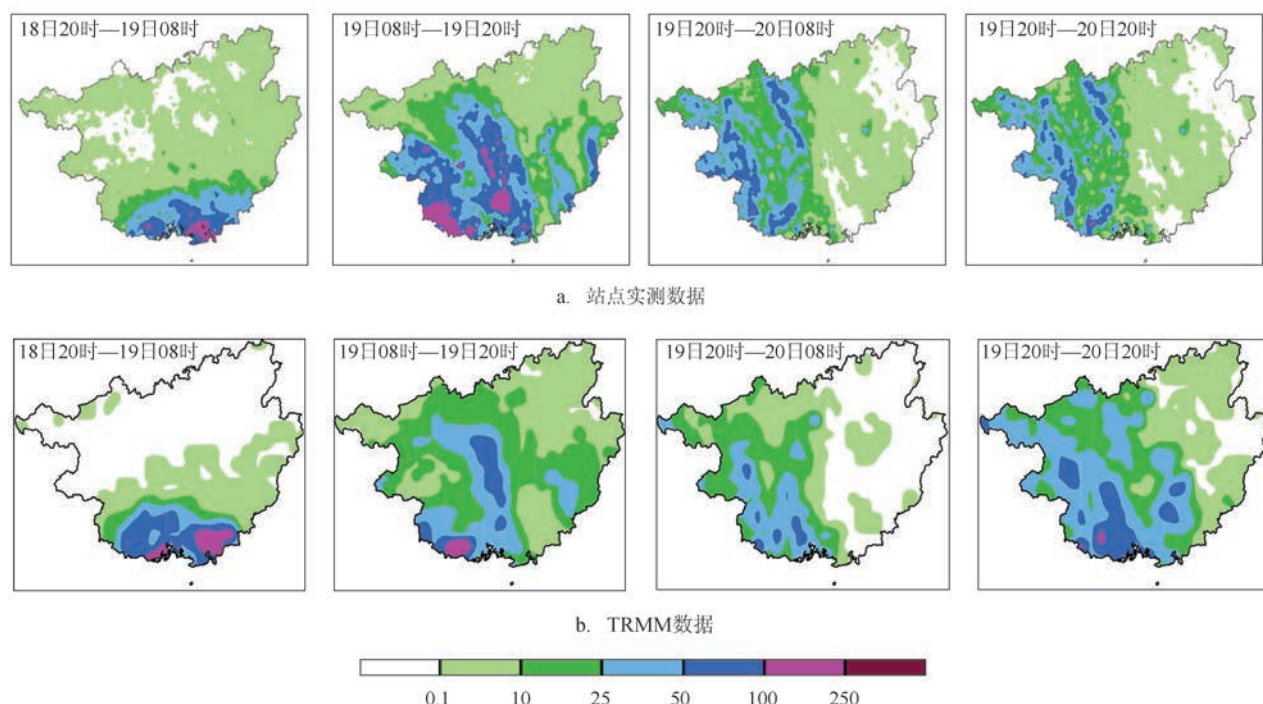


图2 7月广西地区过程累计雨量(单位:mm)

Fig.2 The accumulated rainfall in Guangxi in July (unit: mm)

或者瞬时风力 ≥ 8 级。本研究在前人路径划分的基础上,将西路型中的台风中心从海南岛以南穿过,进入北部湾后在越南登陆,外围云系影响广西产生降水路径的台风定义为偏南型;将东路型中的台风在汕头以北登陆,残涡云系在西风带系统的影响下转向南折进而影响广西路径的台风定义为转向型。综上所述,本研究将影响广西的台风路径划分为5类(见图3)。第Ⅰ类(西路型):在海南岛—湛江市以西(或以南)沿海登陆;第Ⅱ类(中路型):在湛江市以东—珠江口以西沿海登陆;第Ⅲ类(东路型):在珠江口以东—汕头沿海登陆;第Ⅳ类(转向型):在汕头以北沿海登陆,转向进入广西;第Ⅴ类(偏南型):从海南岛以南穿过,进入北部湾后在越南登陆。

将登陆华南影响广西的台风强度按其进入广西影响区后所能达到的最大强度进行划分,分为热带低压(Tropical Depression, TD)、热带风暴(Tropical Storm, TS)、强热带风暴(Severe Tropical Storm, STS)、台风(Typhoon, TY)和强台风/超强台风(Severe Typhoon/Super Typhoon, STY)5类。

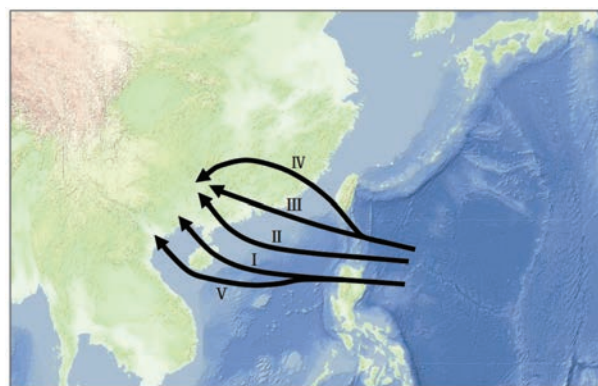


图3 影响广西的台风路径

Fig.3 The path of typhoon affecting Guangxi

2.3 方法介绍

(1) 傅里叶分解法

采用傅里叶分解法研究广西不同路径和强度台风的降水空间非对称性。台风轴对称(0波)降水分量为从台风中心向外逐50 km计算降水的环状方位角平均。台风非对称降水则被当作扰动量,利用

傅里叶分解法进行计算^[27]:

$$\begin{cases} a_1 = \sum_i [R_i \cos(\theta_i)] \\ b_1 = \sum_i [R_i \sin(\theta_i)] \end{cases} \quad (1)$$

式中, R_i 为 TRMM 估测的降水值; θ_i 为每个降水值相对于台风中心的方位角(正北方向为 0° 角); 1 波降水非对称值为:

$$M_1 = [a_1 \cos(\theta) + b_1 \sin(\theta)] \quad (2)$$

(2) 合成分析

在以台风为中心的坐标系下对各类别台风的降水率进行逐 6 h 的合成, 且仅选取台风中心定位在广西影响区内的时段。计算中将各类别台风的降水率合成后再进行傅里叶分解, 得到 1 波降水非对称

值。此外, 台风变性后不参与合成。

3 台风降水分布

表 1 列出了 1998—2019 年间影响广西的台风信息(仅列出每年进入广西影响区后强度最强的台风), 其中 2000 年和 2004 年没有台风进入广西影响区。

3.1 不同路径台风降水分布

经统计, 1998—2019 年间影响广西的第 I—V 类路径台风分别有 39、18、6、4 和 4 个样本, 以西路型和中路型居多, 东路型、转向型和偏南型相对较少。

表 1 1998—2019 年间影响广西的台风

Tab.1 The typhoon affecting Guangxi from 1998 to 2019

年份	编号	名称	中心最大风速/(m/s)	进入广西影响区级别	路径类型及强降雨位置
1998	9803	“宾妮”	25(10 级)	STS	中路型(西南侧)
1999	9903	“玛姬”	40(13 级)	TD	东路型(南侧)
2000	—	—	—	—	—
2001	0103	“榴莲”	35(12 级)	TY	西路型(南侧)
2002	0214	“黄蜂”	30(11 级)	STS	西路型(西南侧)
2003	0307	“伊布都”	50(15 级)	STY	中路型(南侧)
2004	—	—	—	—	—
2005	0518	“达维”	50(15 级)	STY	西路型(南侧)
2006	0606	“派比安”	33(12 级)	TY	中路型(西南侧)
2007	0703	“桃芝”	23(9 级)	TS	西路型(西南侧)
2008	0814	“黑格比”	50(15 级)	STY	中路型(西南侧)
2009	0917	“芭玛”	55(16 级)	TY	西路型(西南、东北侧)
2010	1003	“灿都”	35(12 级)	TY	西路型(南侧)
2011	1117	“纳沙”	45(14 级)	TY	西路型(西南侧)
2012	1223	“山神”	45(14 级)	TY	偏南型(东北侧)
2013	1311	“尤特”	60(17 级)	STY	中路型(南侧)
2014	1409	“威马逊”	72(19 级)	STY	西路型(西南侧)
2015	1522	“彩虹”	52(16 级)	STY	中路型(西南侧)
2016	1603	“银河”	30(11 级)	STS	西路型(西南侧)
2017	1720	“卡努”	42(14 级)	TY	西路型(西侧)
2018	1822	“山竹”	65(18 级)	TY	中路型(西南侧)
2019	1907	“韦帕”	23(9 级)	TS	西路型(西南侧)

表2给出了不同月份中广西台风的分布情况。从表中可以看到,在台风季的各个月份,影响广西的台风同样以西路型和中路型居多。中路型、东路型以及转向型台风主要集中于台风季的中期,偏南

型出现的月份较晚,这可能与台风季晚期西太平洋副热带高压西伸阻碍台风向北发展有关^[24, 28]。

图4给出了台风中心坐标下5类台风的降水率合成(每个样本均选取进入广西台风影响区后的时

表2 不同路径类型下的台风样本数各月份分布

Tab.2 The distribution of sample numbers of different path types in each month

路径类型	月份							
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
西路型	1	0	7	11	6	11	2	1
中路型	0	0	1	5	5	7	0	0
东路型	0	0	1	3	1	1	0	0
转向型	0	0	0	2	2	0	0	0
偏南型	0	0	0	0	2	0	1	1

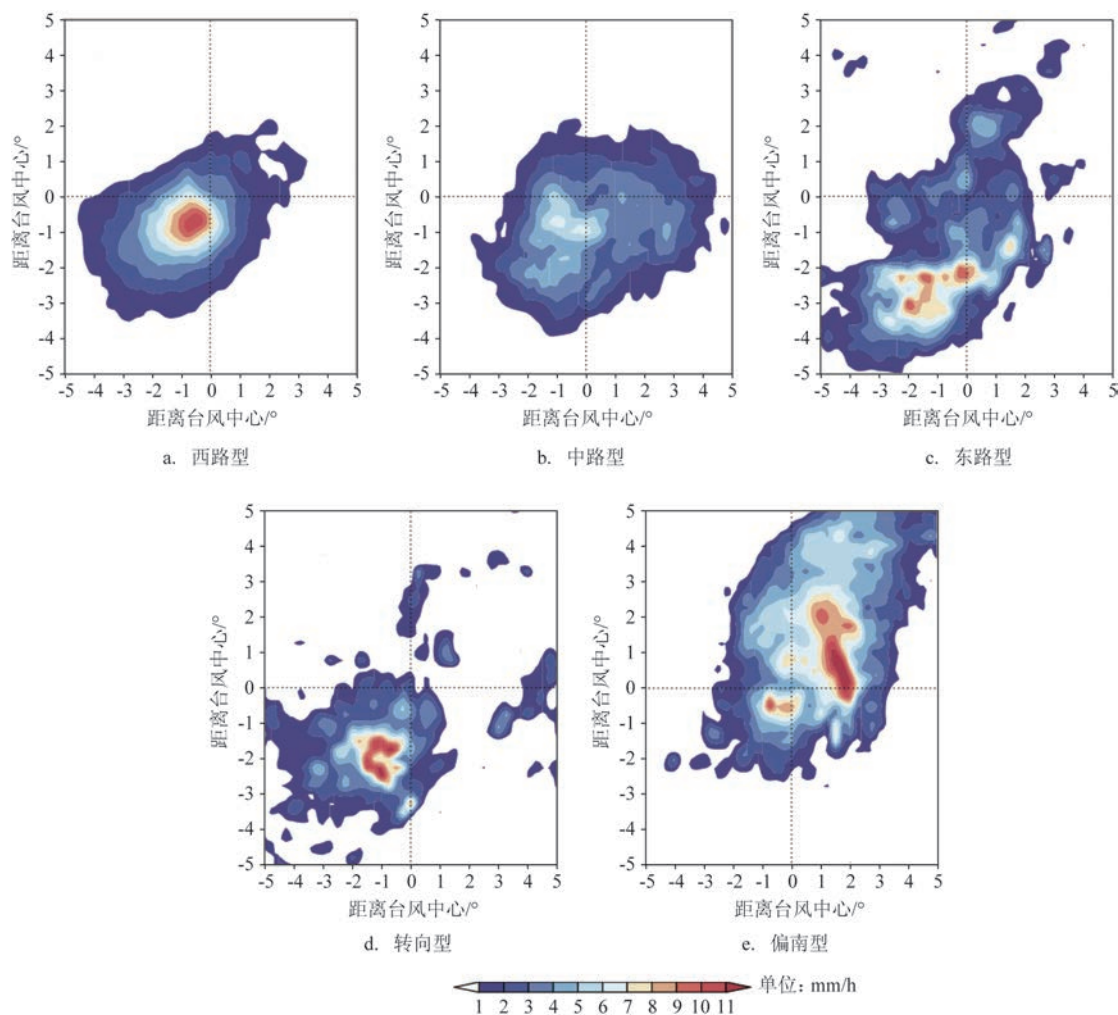


图4 台风中心附近各路径的降水率合成

Fig.4 Composite distribution of rainfall rate near the typhoon center of different path types

段,下同)。从图中可以看到,除了偏南型路径台风的最大降水位于台风中心东北侧外,其余路径下的最大降水均位于台风中心的西南侧,并且随着台风路径从西路型到东路型改变,最大降水落区呈现出气旋性旋转特征。相较而言,西路型和中路型台风的最大降水落区更接近台风中心,而东路型和转向型路径的最大降水区更向外,偏南型路径则位于台风中心附近以及外侧螺旋雨带中。在降水强度上,偏南型台风的降水率极值最大,达到6.5 mm/h,中路型降水最弱,最大仅3.5 mm/h。

为进一步反映各类路径台风的降水最大值落区,我们计算了台风的1波降水非对称值。由图5a—c可以更明显地看到,不同路径台风对广西最大降水的空间分布不同,台风路径从西路型到东路型改变,台风的最大降水落区呈现出气旋性旋转特征,从台风中心的西南侧旋转至东南侧。这与Yu等^[27]得出的结论相符。更为偏北的转向型台风的最大非对称降水落区较上述3类的气旋性旋转并不明显

(见图5d),这可能与样本数较少有关。此外,西路型和中路型台风最大降水落区位于台风中心附近,而东路型、转向型和偏南型的则位于距离中心150~200 km的范围内。值得注意的是,偏南型台风虽然较少直接登陆我国,但其非对称降水中心位于台风中心东北侧(见图5e),影响区域仍覆盖广西,这可能与地形对降水的增幅效应有关^[29],因而也需要引起重视。

在轴对称降水率方面,不同路径台风的径向降水分布也有所不同。对比各路径台风的平均轴对称降水率径向分布廓线可以发现(见图6),在距离台风中心50 km范围内,西路型台风轴对称降水率最大,达到3.39 mm/h,偏南型则相对较弱,但在50~320 km范围内后者的降水率最大。转向型台风的最大轴对称降水率出现在台风中心附近,西路型、中路型 and 偏南型则位于50 km附近,而东路型则在50 km和200 km附近存在两个峰值。除此之外,在140 km范围内,轴对称降水率随着台风路径从西路

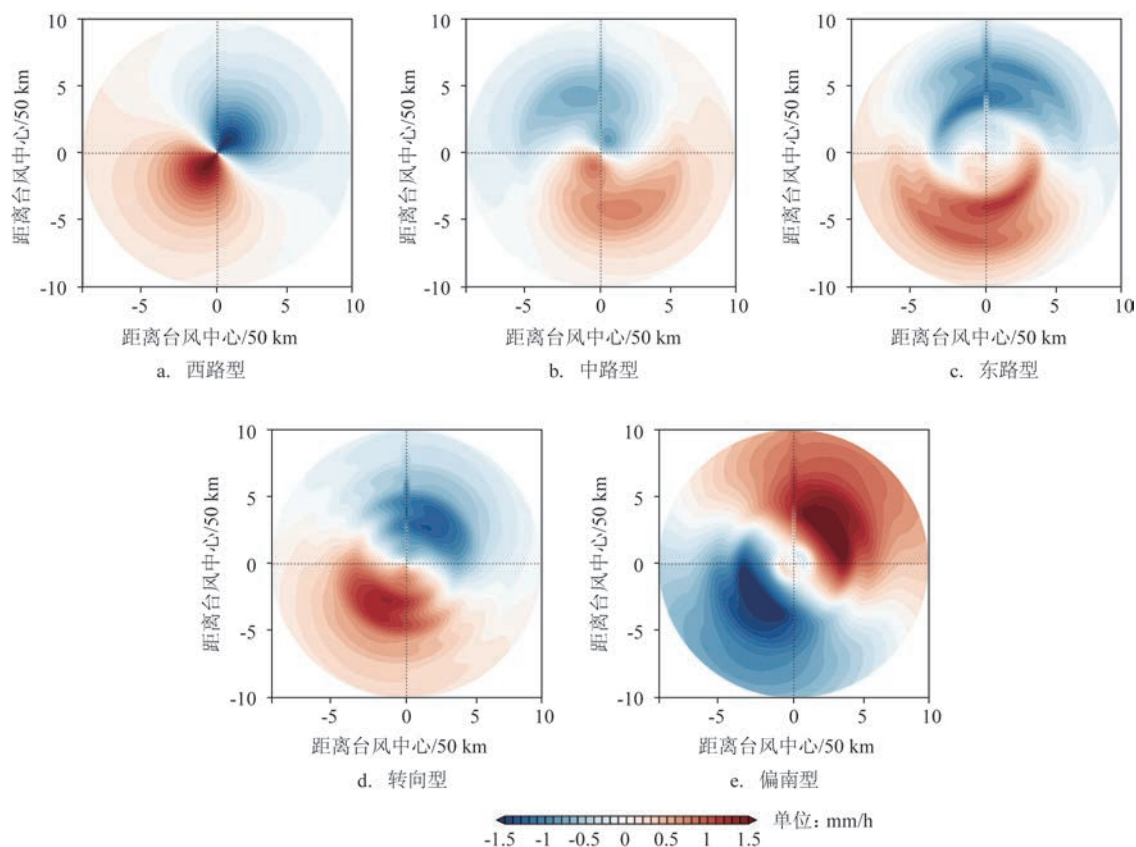


图5 台风中心附近各路径台风的平均傅里叶1波降水率非对称分布

Fig.5 Composite distribution of wavenumber 1 asymmetry rainfall rate near the typhoon center of different path types

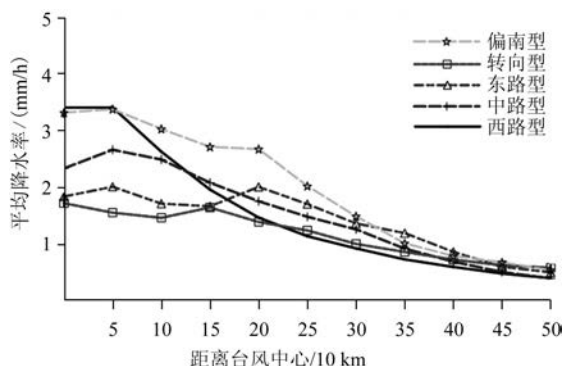


图6 各路径台风的平均轴对称降水率径向分布廓线
Fig.6 The radial profiles of azimuthally averaged rainfall rate of different path types

型向转向型转变而递减。

3.2 不同强度台风降水分布

1998—2019年间进入广西影响区的台风最大

强度以TS级最多,STS级次之,STY级最少,TD—STY类的样本数分别为9、24、15、13和7。所有样本中有3个台风在进入广西影响区后因强度达不到热带低压而未入选。

在各月份的样本分布中(见表3,跨月份的记录取起始编号时间),台风活跃的6—9月同样表现为TS级最多、STS级次之的特征。TY级台风出现的时间段跨度较长,4—11月均有样本入选(除5月外)。相较而言,STY级台风出现时段较为集中,分布在7—9月并且超过半数出现在9月。

由图7的降水率合成可见,5类强度的台风的最大降水均位于中心西南侧,其中TD级台风的降水强度最弱,降水中心位于距离台风中心较远的4~5个经纬度的范围。TD—STS级的降水强度极值随着台风强度的增强而增大,TD、TS和STS的极值分别为4.7 mm/h、4.8 mm/h和6.5 mm/h。降水率极值以STY级最强,达到7 mm/h。TY级的降水强度极

表3 不同强度的台风样本数各月份分布

Tab.3 The distribution of typhoon sample numbers of different intensity level in each month

强度	月份							
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
TD	0	0	2	1	2	3	1	0
TS	0	0	4	9	5	6	0	0
STS	0	0	2	6	5	1	0	1
TY	1	0	1	3	2	3	2	1
STY	0	0	0	2	1	4	0	0

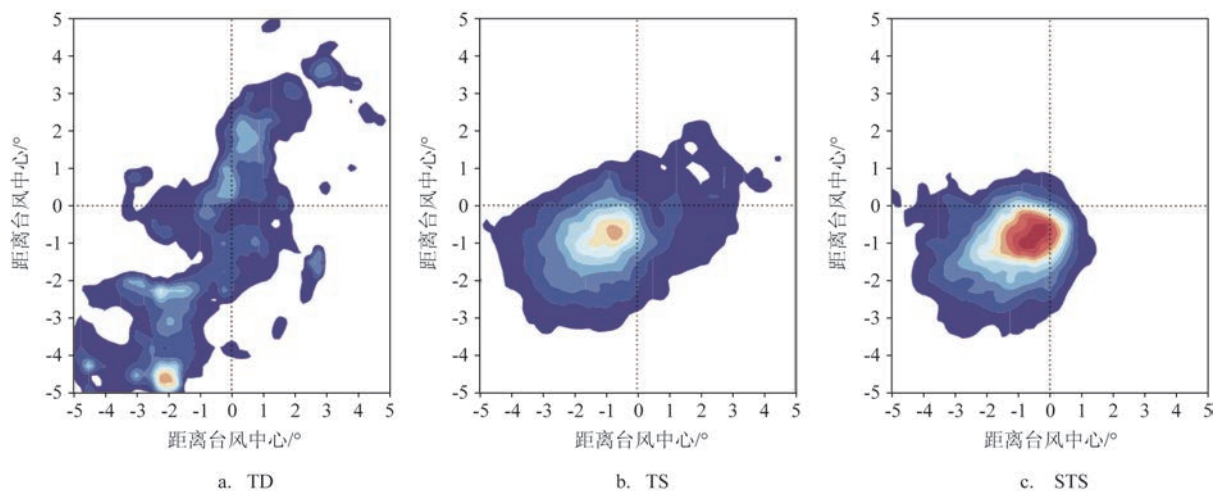
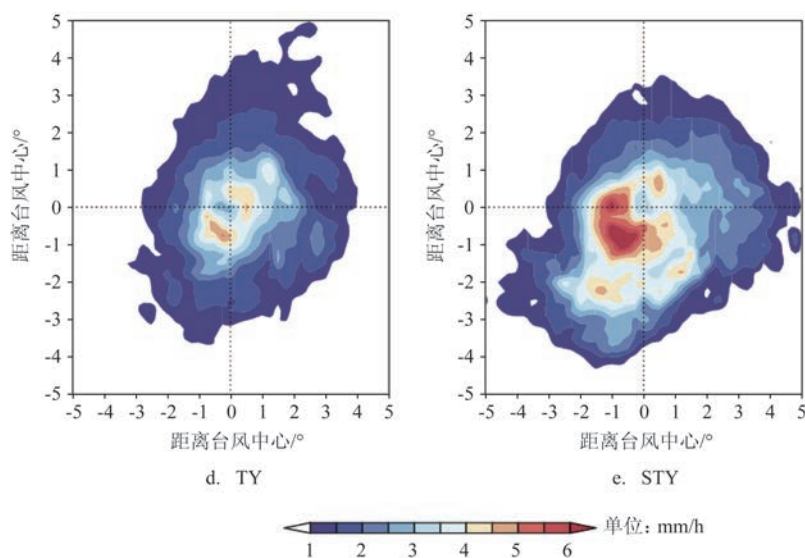


图7 台风中心附近不同台风强度的降水率合成

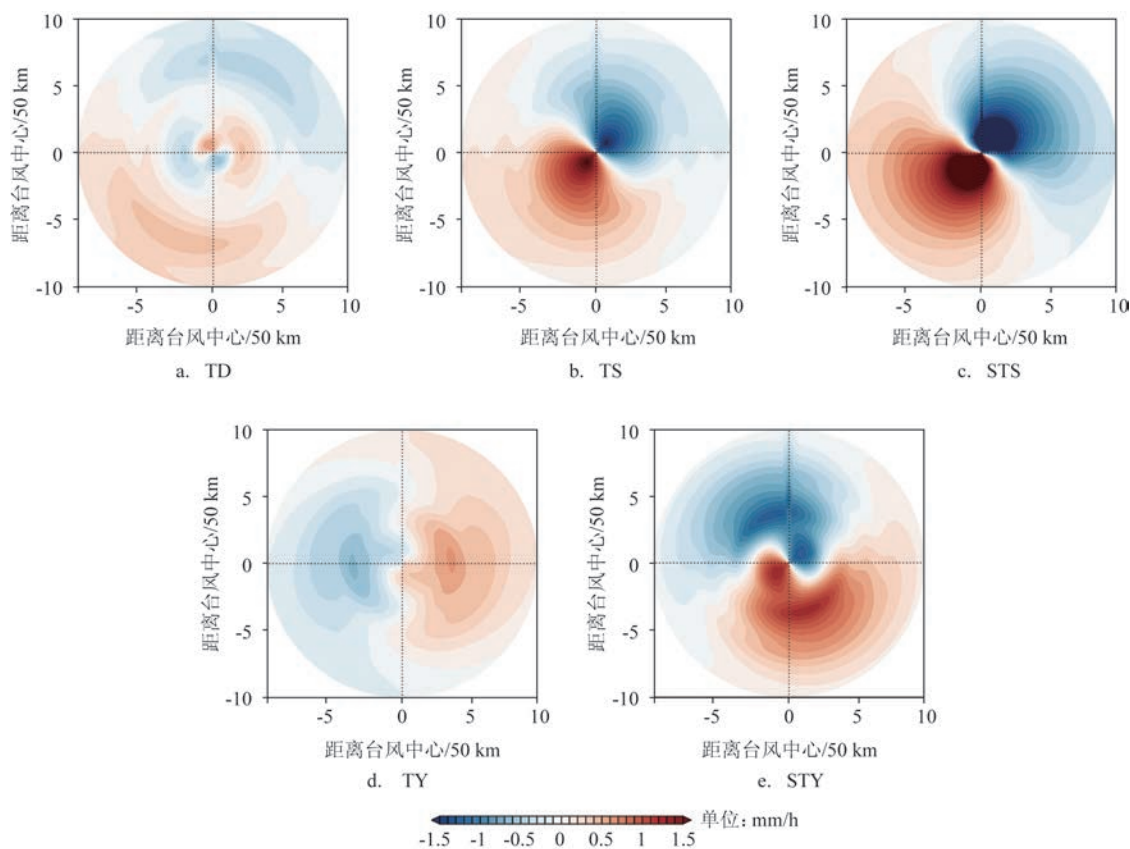
Fig.7 Composite distribution of rainfall rate near the typhoon center of different intensity level



值为 5 mm/h, 低于 STS 和 STY 级。

由各强度的 1 波降水非对称值可见 (见图 8),

强、弱台风间的非对称降水差异并不明显, 这与 Yu 等^[30]的研究发现类似。从 TD—STS 级的降水非对



称程度逐渐增强,然而TY级却为较弱的非对称降水。相较而言,TS级、STS级和STY级具有较强的降水非对称性,最大非对称值分别达到1.2 mm/h、2.5 mm/h和1.2 mm/h。

此外,不同强度的台风降水非对称性与其路径有一定的关联。由表4可见,具有较强降水非对称性的强度类型中,TS和STS级主要以西路型路径为主,降水非对称性均表现出与图5a相似的特征。STY级强度下西路型和中路型路径的样本数相当,表现为台风中心西南侧以及东南侧都存在较强的非对称降水中心。

表4 不同台风强度分类下各路径类型的样本数

Tab.4 The sample numbers of different typhoon path types in different intensity level

强度	路径类型				
	西路型	中路型	东路型	转向型	偏南型
TD	2	2	4	1	0
TS	16	5	2	0	1
STS	10	4	0	0	1
TY	8	3	0	0	2
STY	3	4	0	0	0

与非对称降水不同的是,前人的研究指出轴对称降水的大小随台风强度的变化存在一定规律。Lonfat等^[31]利用TRMM资料研究了不同强度台风的降水特征,发现平均状况下随着台风强度的增强,轴对称降水的极大值也增大。Alvey等^[32]利用台风遥感数据集分析了降雨性质与台风强度变化的关系,指出台风强度的变化与降水的轴对称分布密切相关。Yu等^[30]统计了2001—2015年间登陆我国的133个台风并总结出台风强度与降水分布的特征,认为越强的台风具有越高的轴对称降水率最大值。

类似地,影响广西的台风随着其最大强度增强,轴对称降水极大值同样表现出增大的特征。从不同强度台风的平均轴对称降水率径向廓线可以看到(见图9),TD—STY强度的轴对称降水极大值分别为1.8 mm/h、2.6 mm/h、3.6 mm/h、3.9 mm/h和4.8 mm/h。其中,STY级、TY级以及TD级强度的台风对称降水的极大值位于50 km附近,而STS级和

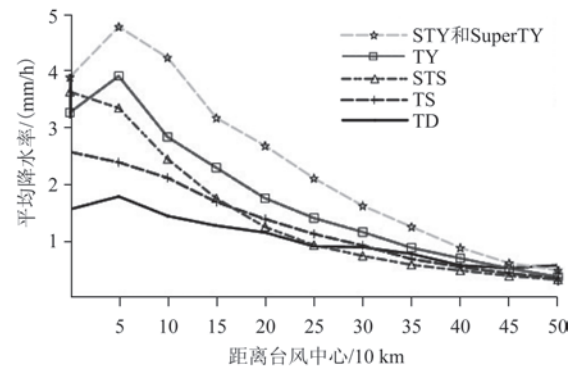


图9 不同强度台风的平均轴对称降水率径向分布廓线

Fig.9 The radial profiles of azimuthally averaged rainfall of different intensity level

TS级位于中心附近。

我们选取了统计时段中不同强度的台风个例进行对比(见表5)。从表中可以看到,随着台风强度的增强,轴对称降水极值逐渐增大,TD级强度的台风“妮姐”—STY级的台风“彩虹”对应的轴对称降水极值增幅达3倍。

表5 不同强度的台风个例信息

Tab.5 The information of typhoon case of different intensity level

影响时段 最大强度	年份	编号	名称	轴对称降水极值 /(mm/h)
TD	2016	1604	“妮姐”	1.84
TS	2016	1608	“电母”	2.52
STS	2015	1508	“鲸鱼”	3.79
TY	2013	1330	“海燕”	4.61
STY	2015	1522	“彩虹”	7.68

4 结论

利用1998—2019年TRMM卫星估测的降水数据和台风最佳路径资料,将影响广西的台风按照路径和强度进行分类,结合傅里叶分解法,研究分析了不同类型台风降水的分布特征。结论如下:

(1)1998—2019年间影响广西的台风以西路型和中路型居多,而东路型、转向型和偏南型相对较少。台风能达到的最大强度以TS级最多,STS级次之,STY级最少。

(2)除了偏南型路径台风的最大降水位于台风中心东北侧外,其余路径下的最大降水均位于台风中心的西南侧,并且随着台风路径从西路型到东路型转变,最大降水落区呈现出气旋性旋转特征。西路型和中路型台风的最大降水落区位于台风中心附近,而东路、转向和偏南型的则位于距离台风中心150~200 km的范围内。在降水强度上,偏南型台风的降水率极值最大,达到6.5 mm/h,而中路型降水最弱,最大仅3.5 mm/h。

(3)距离台风中心50 km的范围内,西路型台风轴对称降水率最大,偏南型则相对较弱,但在50~320 km范围内后者的降水率则最大。转向型台风的最大轴对称降水率出现在台风中心附近,西路型、中路型和偏南型则位于50 km附近,而东路型则在距台风中心50 km和200 km附近存在两个峰值。除此之外,在140 km的范围内,台风路径从西路型向转向型转变,轴对称降水率递减。

(4)影响广西台风的最大降水位于台风中心西南侧,其中TD级的降水强度最弱,降水中心位于距离台风中心较远的4~5个经纬度。TD级—STS级的降水率极值随着台风强度的增强而增大,降水率极值以STY级最强,达到7 mm/h,而TY级的降水极值低于STS级和STY级。

(5)影响广西的台风随着其强度增强,轴对称降水极大值表现出增大的特征。STY级、TY级以及TD级强度的台风的轴对称降水极大值位于50 km附近,而STS级和TS级位于台风中心附近。

参考文献:

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
TAO S Y. Torrential rain in China[M]. Beijing: Science Press, 1980.
- [2] 陈联寿. 登陆台风特大暴雨成因分析[J]. 气象, 1977, 3(11): 10-13.
CHEN L S. Cause analysis of landfall typhoon rainstorm[J]. Meteorological Monthly, 1977, 3(11): 10-13.
- [3] 丁一汇. 暴雨和中尺度气象学问题[J]. 气象学报, 1994, 52(3): 274-284.
DING Y H. Some aspects of rainstorm and meso-scale meteorology [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1994, 52(3): 274-284.
- [4] 董美莹, 陈锋, 邱金晶, 等. ECMWF驱动场谱逼近对浙江超强台风“利奇马”(2019)精细化数值预报的影响[J]. 大气科学, 2021, 45(5): 1071-1086.
- DONG M Y, CHEN F, QIU J J, et al. Impact of spectral Nudging technique driven with ECMWF data on the fine numerical prediction of super typhoon Lekima (2019) in Zhejiang Province [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2021, 45(5): 1071-1086.
- [5] 陈联寿, 徐祥德, 罗哲贤, 等. 台风动力学引论[M]. 北京: 气象出版社, 2002.
CHEN L S, XU D X, LUO Z X, et al. Introduction to tropical cyclone dynamics[M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [6] 肖志祥, 姚才, 赵金彪, 等. 广西台风预报业务和研究进展[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(4): 20-27.
XIAO Z X, YAO C, ZHAO J B, et al. Guangxi tropical cyclone forecast operation and research progress[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2020, 41(4): 20-27.
- [7] ZHANG D L, LIU Y B, YAU M K. A multiscale numerical study of Hurricane Andrew (1992). Part V: inner-core thermodynamics[J]. Monthly Weather Review, 2002, 130(11): 2745-2763.
- [8] ZHU T, ZHANG D L. Numerical simulation of Hurricane Bonnie (1998). Part II: Sensitivity to Varying cloud microphysical processes[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 2006, 63(1): 109-126.
- [9] 许爱华, 叶成志, 欧阳里程, 等. “云娜”台风登陆后的路径和降水的诊断分析[J]. 热带气象学报, 2006, 22(3): 229-236.
XU A H, YE C Z, OUYANG L C, et al. The diagnostic analysis of the track and precipitation of typhoon "Rananim" after landfall[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2006, 22(3): 229-236.
- [10] 张艳霞, 蒙伟光, 戴光丰, 等. 台风“凡亚比”登陆过程中暴雨MCSs演变及形成机理[J]. 热带气象学报, 2015, 31(4): 433-443.
ZHANG Y X, MENG W G, DAI G F, et al. The evolution and formation mechanism of rainstorms MCSs during typhoon Fnanpi landing[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2015, 31(4): 433-443.
- [11] 覃丽, 黄海洪, 吴俞, 等. 1306号热带气旋“温比亚”非对称降水的环境场特征[J]. 暴雨灾害, 2014, 33(2): 121-128.
QIN L, HUANG H H, WU Y, et al. Characteristics of environment fields of asymmetrical precipitation induced by tropical cyclone Rumbia (1306)[J]. Torrential Rain and Disasters, 2014, 33(2): 121-128.
- [12] 黄巾旗, 王盛繁, 梁毅进, 等. 2015年秋季台风“彩虹”暴雨诊断分析[J]. 中国农学通报, 2017, 33(14): 87-94.
HUANG J Q, WANG S F, LIANG Y J, et al. Diagnostic analysis of rainstorm associated with typhoon "Rainbow" in the Autumn of 2015[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(14): 87-94.
- [13] 黄莉, 黄增俊, 白龙, 等. 台风“海燕”(2013)暴雨非对称结构及尺度特征分析[J]. 热带气象学报, 2017, 33(3): 334-344.
HUANG L, HUANG Z J, BAI L, et al. The analysis of the asymmetric structure and the mesoscale characteristics of typhoon Haiyan(2013)[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2017,

- 33(3): 334-344.
- [14] 苏玉婷, 林开平, 肖志祥, 等. 广西沿海地形对超强台风“威马逊”影响的数值试验[J]. 气象研究与应用, 2018, 39(1): 11-14, 154.
- SU Y T, LIN K P, XIAO Z X, et al. Numerical test on the influence of Guangxi coastal terrain on the super typhoon "Ramasun"[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2018, 39(1): 11-14, 154.
- [15] 傅云飞, 刘奇, 王雨, 等. 热带测雨卫星搭载的仪器及其探测结果在降水分析中的应用[J]. 中国工程科学, 2012, 14(10): 43-50.
- FU Y F, LIU Q, WANG Y, et al. TRMM satellite onboard instruments and the application on precipitation analysis of their measurements[J]. Strategic Study of CAE, 2012, 14(10): 43-50.
- [16] CAI Y C, JIN C J, WANG A Z, et al. Spatio-temporal analysis of the accuracy of tropical multisatellite precipitation analysis 3B42 precipitation data in mid-high Latitudes of China[J]. PLoS One, 2015, 10(4): e0120026.
- [17] 李威, 蒋平, 赵卫权, 等. TRMM 卫星降水数据在喀斯特山区的适用性分析——以贵州省为例[J]. 水土保持研究, 2016, 23(1): 97-102.
- LI W, JIANG P, ZHAO W Q, et al. Analysis on applicability of TRMM precipitation data in Karst Areas—A case study in Guizhou Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(1): 97-102.
- [18] 王新利, 唐传师, 刘显通, 等. 利用 TRMM 卫星资料分析“桑美”台风云系特征[J]. 气象与减灾研究, 2007, 30(3): 7-11, 75.
- WANG X L, TANG C S, LIU X T, et al. Cloud characters of typhoon Saomei on the TRMM satellite Data[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 2007, 30(3): 7-11, 75.
- [19] 卢怡, 周顺武, 赵兵科, 等. TRMM/TMI 资料在台风强度估计中的应用研究[J]. 暴雨灾害, 2012, 31(4): 336-341.
- LU Y, ZHOU S W, ZHAO B K, et al. Estimating tropical cyclone intensity by using TRMM / TMI data[J]. Torrential Rain and Disasters, 2012, 31(4): 336-341.
- [20] 周顺武, 卢怡, 赵兵科, 等. 利用 TMI 资料估计西北太平洋台风强度的客观方法[J]. 大气科学学报, 2015, 38(3): 407-413.
- ZHOU S W, LU Y, ZHAO B K, et al. An objective method to estimate tropical cyclone intensity over Northwest Pacific using TRMM / TMI data[J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2015, 38(3): 407-413.
- [21] 崔林丽, 杨引明, 刘红亚, 等. 华东沿海台风移动和降水特征研究[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(7): 887-893.
- CUI L L, YANG Y M, LIU H Y, et al. Research on movement and Precipitation characteristics of tropical cyclones in coastal areas of east China[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2013, 22(7): 887-893.
- [22] 丁伟钰, 陈子通. 利用 TRMM 资料分析 2002 年登陆广东的台风降水分布特征[J]. 应用气象学报, 2004, 15(4): 436-444.
- DING W Y, CHEN Z T. Using TRMM data to analyse the precipitation distributions of landfall tropic cyclones in Guangdong in 2002[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2004, 15(4): 436-444.
- [23] SHEN Y, XIONG A Y, WANG Y, et al. Performance of high-resolution satellite precipitation products over China[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2010, 115(D2): D02114.
- [24] 李卓, 黎伟标, 张晔祺. 台风登陆前华南地区降水日变化特征分析[J]. 热带海洋学报, 2022, 41(2): 26-37.
- LI Z, LI W B, ZHANG A Q. Analysis of diurnal variation characteristics of precipitation over South China before typhoon landfall[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2022, 41(2): 26-37.
- [25] 蒙远文, 蒋伯仁, 韦相轩, 等. 广西天气及其预报[M]. 北京: 气象出版社, 1989: 1-458.
- MENG Y W, JIANG B R, WEI X X, et al. Guangxi weather and forecast[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1989: 1-458.
- [26] 《广西天气预报技术手册》编写组. 广西天气预报技术和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2012: 1-201.
- 《Guangxi Weather Forecast Technical Manual》Compilation Group. Guangxi weather forecast technology and method[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2012: 1-201.
- [27] YU Z F, WANG Y Q, XU H M. Observed rainfall asymmetry in tropical cyclones making landfall over China[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2015, 54(1): 117-136.
- [28] 周琴芳. 副热带高压对“灿鸿”和“苏迪罗”台风路径的影响[J]. 现代农业科技, 2019(19): 196-197, 200.
- ZHOU Q F. Influence of subtropical high on typhoon track of "Canhong" and "Sudiro"[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2019(19): 196-197, 200.
- [29] 何慧, 陆虹, 欧艺. 强台风“黑格比”暴雨洪涝特征及成因分析[J]. 热带地理, 2009, 29(5): 440-444.
- HE H, LU H, OU Y. Characteristics of rainstorm and flood caused by the strong typhoon "Hagupit"[J]. Tropical Geography, 2009, 29(5): 440-444.
- [30] YU Z F, WANG Y Q, XU H M, et al. On the relationship between intensity and rainfall distribution in tropical cyclones making landfall over China[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2017, 56(10): 2883-2901.
- [31] LONFAT M, MARKS F D, CHEN S S. Precipitation distribution in tropical cyclones using the tropical rainfall measuring mission (TRMM) microwave imager: a global perspective[J]. Monthly Weather Review, 2004, 132(7): 1645-1660.
- [32] ALVEY III G R, ZAWISLAK J, ZIPSER E. Precipitation properties observed during tropical cyclone intensity change[J]. Monthly Weather Review, 2015, 143(11): 4476-4492.

Analysis of the distribution characteristic of typhoon rainfall in Guangxi based on TRMM data

SUN Chongzhi¹, QIN Hao²

(1. Guangxi Meteorological Service Center, Nanning 530022, China; 2. Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022, China)

Abstract: Using the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite estimated rainfall data and the typhoon best track data from 1998 to 2019, the typhoons affecting Guangxi are classified according to their paths and intensities, and the distribution characteristics of different types of typhoon rainfall are studied based on the Fourier decomposition method. The results show that: most of the typhoons affecting Guangxi are west-path and mid-path type, and most of the typhoons maximum intensity are at the levels of tropical storm and severe tropical storm from 1998 to 2019. The maximum rainfall of south-path type typhoons is in the northeast side of the typhoon center, while it is in the southwest side for the other path types. Moreover, the location of the maximum rainfall rotates cyclonically with the change of typhoon path from west to east type. In terms of rainfall intensity, the extreme value of rainfall rate of the south-path type is the largest, while that of the mid-path type is the smallest. In different intensity classifications, the severe typhoon/super typhoon level has the largest rainfall rate and the tropical depression level has the smallest. There were obvious differences in the characteristics of typhoon axisymmetric rainfall under different path types, and the maximum of axisymmetric rainfall increases with the enhancement of typhoon maximum intensity.

Key words: typhoon rainfall; the data of Tropical Rainfall Measuring Mission; typhoon path; distribution characteristic