

# 南海热带气旋的气候变化及强度预测方法研究

梁 健, 李晓娟, 谢定升, 翁向宇

(广州中心气象台, 广州 510080)

**摘要:** 建立南海海域 1949~2007 年 6~10 月份热带气旋(以下简称 TC) 年、月频数和 TC 中心强度的历史资料统计文件, 分析 TC 的年月变化。结果表明: 近 50 年, TC 具有 10 a 左右的周期变化, 1964~1974 年和 1985~1995 年为南海两个强台风以上级别频发期, 1997~2006 年为 TC 频数少且强度弱的时期。同时 TC 强度的空间分布分析结果表明, 中沙北部海域和东沙西部海域为强台风多发区, 各月 TC 强度分布特征明显不同, 且其加强通道具有南-北南阶段性变化。另外, 通过分别对 1949~2007 年北半球 500 hPa 高度场及海温场的格点资料和 TC 强度历史资料的相关计算, 选取高相关格点, 根据相关权重组成组合因子, 构建二次型预测方程, 做年月 TC 强度预测。预测检验结果显示, 冬季的高度场和海温场对次年的 TC 强度预测效果良好。

**关键词:** 南海热带气旋; 气候变化; 强度预测及检验

中图分类号: P732

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2008)12-0029-06

热带气旋强度变化除了受环境气流影响外, 还受到诸多复杂物理过程影响, 这些过程决定了内核区结构, 热带气旋(以下简称 TC) 和海洋、大气环境之间的相互作用等。因此对于 TC 强度变化的认识与预测要比路径困难得多。并且影响南海海域的热带气旋较影响我国其他海域的热带气旋更具有特性, 有路径复杂、强度变化大且快、影响严重的特点, 例如 2005 年第 18 号强台风“达维”进入南海后, 在登陆海南前 12 h 迅速加强, 造成海南、广东、广西三地共 890.7 万人受灾, 直接经济损失 116.4 亿元。2006 年第 01 号强台风“珍珠”在南海时中心附近最大风力 45 m/s, 南海流花油田储油船被损坏, 番禺 30-1 汽田海上平台支脚架被损坏, 造成重大经济损失。因此对南海热带气旋, 尤其是台风以上级别 TC 的预测, 成为政府决策部门、南海石油开发、海洋渔业、养殖业、航运业、海上救捞等所需要, 也是防灾减灾急需研究的课题。

以往我国的气象学者主要从 TC 的结构<sup>[1,2]</sup>、移动路径<sup>[3,4]</sup> 等的天气学特征方面对 TC 进行研究。对 TC 发生的频数<sup>[3]</sup> 的气候背景的分析研究较多。而对 TC 发生频数和强度的气候预测较少。本文将重点分析南海 TC 频数和强度的气候变化特征, 并对影响南海 TC 中心强度的气候预测方法研究, 以及预测结果检验。

## 1 资料说明

本文使用国家气候中心下发的海温和高度场格点资料以及中国气象局编的《热带气旋年鉴》中的热带气旋资料, 热带气旋的等级划分按 2006 年国家标准, 分别为热带低压(TD)、热带风暴(TS)、强热带风暴(STS)、台风(TY)、强台风(STY)、超强台风(SUPER TY)。

### 1.1 预报因子

西北太平洋 12 个月海温场( $10^{\circ}\text{S}\sim 50^{\circ}\text{N}$ ,  $120^{\circ}\sim 180^{\circ}\text{E}$ )  $5\times 5$  的 286 个格点, 1949~2007 年(共 59 a) 海温场格点资料作为预报因子场。北半球 12 个月 500 hPa 高度场( $10^{\circ}\sim 85^{\circ}\text{N}$ ,  $0^{\circ}\sim 360^{\circ}\text{E}$ )  $10\times 10$  的 576 个格点, 1951~2007 年(共 57a) 北半球 500 hPa 高度场格点资料作为预报因子场。

### 1.2 预报对象

把进入  $25^{\circ}\text{N}$  以南和  $120^{\circ}\text{E}$  以西海域的热带气旋, 包括南海形成的和西太平洋形成后进入以上区域的热带气旋定义为影响南海热带气旋, 以下简称南海 TC(图 1)。



图 1 热带气旋影响区域定义

Fig. 1 Regional definition of tropical cyclone

收稿日期: 2008-07-12; 修回日期: 2008-10-18

基金项目: 2008 年中国气象局业务建设项目(热带气旋气候预测业务系统)

作者简介: 梁健(1975-), 女, 广东湛江人, 工程师, 主要从事天气气候预报业务, E-mail: keeponline75@hotmail.com

根据热带气旋年鉴资料将南海 TC 强度等级作为预报对象,建立 1949~ 2007 年共 59 a 6 月份~ 10 月份、年最强的预报对象资料文件。

## 2 南海 TC 的气候变化分析

建立南海 TC 各月及年发生的频数、中心附近最大风力即强度的资料序列,分析发现:南海 TC 活动有较明显月际、年际、年代际变化规律。

### 2.1 南海 TC 的年代变化

朱乾根等<sup>[1]</sup>、丁一汇等<sup>[2]</sup>分析了西北太平洋 TC 的统计特征,指出热带气旋和台风总数,存在明显的年代际变化。马丽萍等<sup>[4]</sup>、周俊华等<sup>[5]</sup>的研究结果表明:20 世纪 60 年代是太平洋 TC 的多发期,70 年代后期以后逐渐减少。经分析,结果表明南海 TC 与西太平洋 TC 的统计特征和年代际变化一致。

表 1 显示南海 TC 有明显的 10 a 左右变化周

表 1 南海 TC 强度变化

Tab. 1 Distribution of TC intensity

时间	时间跨度(a)	STY (次/月)	SUPERTY (次/月)	合计 (次/月)	TS 以上 (个)	平均 (个/a)	评论
1949~ 1954	6	2	4	6	56	9.3	少
1955~ 1963	9	8	3	11	73	8.1	最少
1964~ 1974	11	14	7	21	138	12.5	多且强
1975~ 1984	10	9	2	11	91	9.1	少
1985~ 1995	11	12	1	13	122	11.1	略多
1996~ 2005	10	4	0	4	99	9.9	偏少
合计	57	49	17	66	579	10.1	

表 2 6~ 11 月南海 TC 各等级频数分布

Tab. 2 Various grades distribution of TC intensity during June to November

月份	频数分布(月次)								
	NONE	TD	TS	STS	STS 及以下	TY	STY	SUPERTY	TY 及以上
6	11	9	9	8	37	19	3	0	22
7	3	3	8	6	20	25	12	2	39
8	1	4	1	16	22	23	7	7	37
9	0	2	2	15	19	20	13	7	40
10	7	5	2	7	21	21	12	5	38
11	9	2	8	14	33	14	10	2	26
合计	31	25	30	66	152	122	57	23	202

### 2.3 南海 TC 强度的空间分布特征<sup>[4-8]</sup>

图 2 为南海 TC 1949~ 2007 各年度强度最大值空间分布图,可见:在南海中部中沙附近海域为强台风多发发生区,同时在东沙与巴士海峡、台湾海峡交接处也是强台风发生区。

图 3 为 1949~ 2007 年 6~ 11 月南海 TC 的强度空间分布图。6~ 9 月南海 TC 强度的高值区分布到

期。1949~ 1954 年,1964~ 1974 年和 1985~ 1995 年,南海的热带气旋频数偏多,且强度偏强。其中 1964~ 1974 年,11 年共出现 138 个热带风暴以上级别的热带气旋,年平均 12.5 个,比历年平均 10 个多 2.5 个。表 2 统计中,以每月最大风力作为 1 次计算(单位:月次),每年 6~ 11 月有 6 月次,57 年共 342 月次。强台风和超强台风,历年共出现 66 月次,1964~ 1974 年 11 年共出现 21 月次,约占历年 32%。

### 2.2 南海 TC 强度的月变化

历年 6~ 11 月南海 TC 发生的次数占历年总数的绝大多数(513/579),约占 89%。而其余月份南海 TC 发生的次数少,强度也较弱。

表 2 表明,6~ 11 月南海发生台风以上 202 月次,占历年(354 月次)同期约 57%。7~ 10 月份是台风发生最多的月份,历年发生严重灾害的强台风、超强台风共 64 月次,平均每年 1 月次。

南海中北部海域,其中 6, 7, 8 月高值分布区相似,但强度逐月增强,尤其是西沙偏西南到中沙附近海域出现了一条增强通道。9 月强度较 8 月有进一步的增强,强度高值区有明显的北移到海南岛偏东附近海域、东沙至巴士海峡附近海域,明显增强通道出现在巴士海峡到东沙附近海域。10 月强度出现减弱,强度高值区出现明显南移到中沙、南沙偏北海域

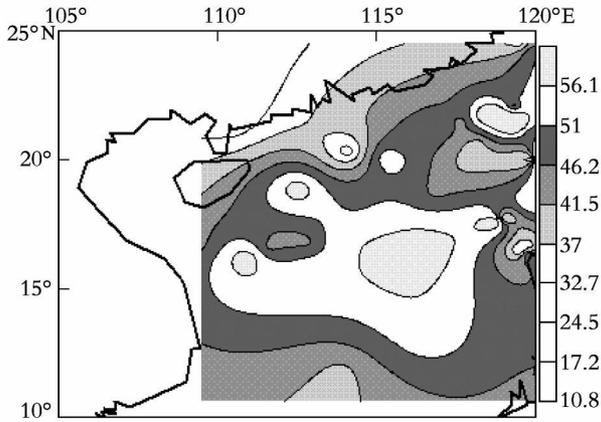


图2 TC强度年最大值空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of annual maximum tropical cyclone intensity

以及海南岛偏西南的附近海域。11月分布值区分散,强度有进一步的减弱,但从中沙到东沙附近海域的增强通道较10月有所加强。分析结果表明,南海TC的强度空间分布具有明显年月变化特征。

### 3 热带气旋强度的二项式预测模型<sup>[9-14]</sup>

20世纪70年代和80年代热带气旋活动的预测多采用方差分析、多元线性回归、逐步回归等线性预报模型,90年代后期,随着统计方法的发展,非线性预测模型有进一步的广泛应用。统计学理论和实践表明,非线性回归更能反映预报对象与因子的相关关系。多项式回归在统计中有着特殊的地位。因为任何函数(或复杂问题)都可以用正交多项式回归进行分析和计算,其可对任意形状的曲线进行模拟。下面介绍二项式曲线模拟热带气旋强度的预测方法。

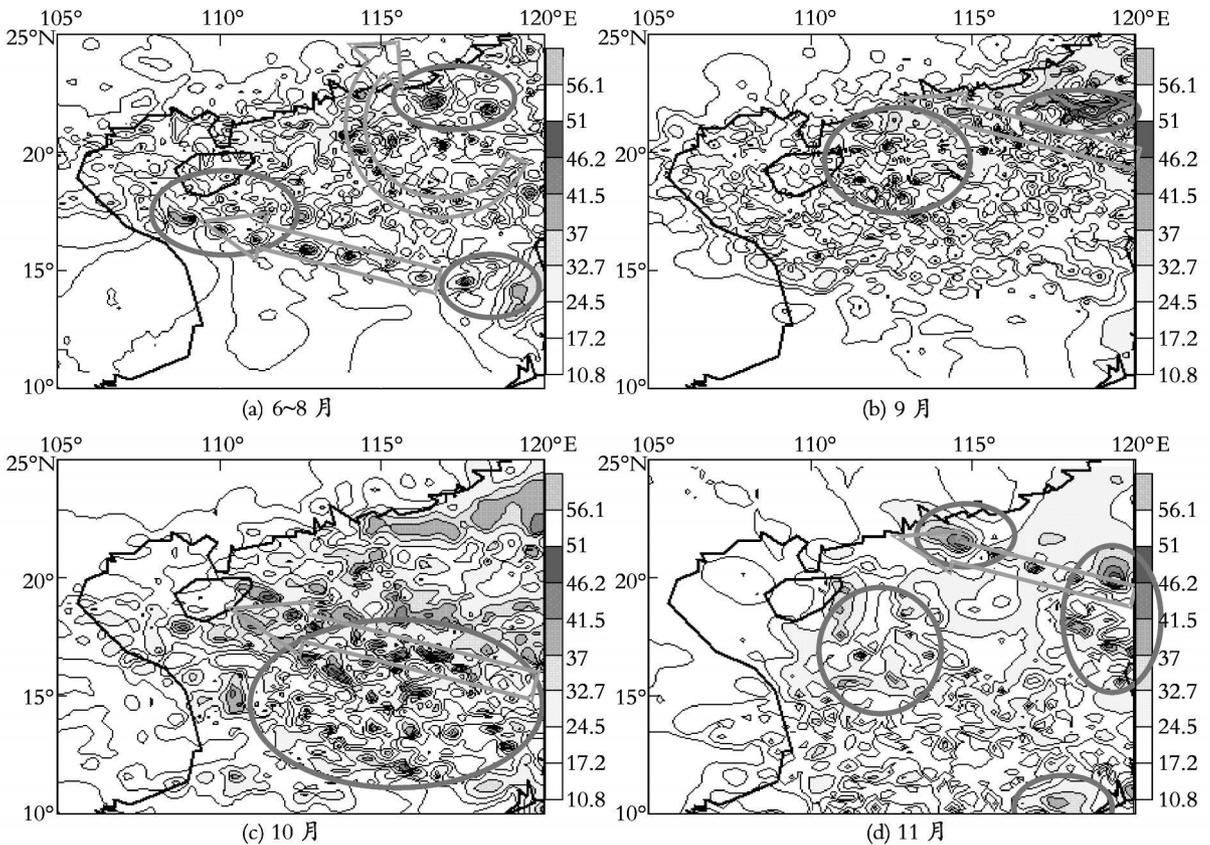


图3 TC强度各月空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of monthly maximum tropical cyclone intensity

#### 3.1 组合因子的建立

本方法是计算某月500 hPa高度场(或某月SST海温场)与热带气旋强度的相关系数,挑选6个到12个通过相关系数信度检验为0.05的格点,每3个格点的值作为一个组合因子,计算组合因子与预

报对象的相关系数。下面以2005年1月份海温场格点资料作预报因子,2005年7月影响南海TC强度作预报对象为例子,说明预报原理及操作的方法。

经普查,1月份海温场有如下6个格点19, 20, 22, 104, 105, 107与预报对象的相关系数分别是:

0.303, 0.400, 0.334, - 0.343, - 0.328, - 0.304。

每3个格点为一个组合因子,即:

$$X_A = X_{361} + X_{362} + X_{363} \quad (1)$$

$$X_B = X_{325} + X_{326} + X_{331} \quad (2)$$

$X_A, X_B$  与预报对象  $Y$  的相关系数分别是:  $R_A = 0.374, R_B = - 0.349$ 。

显然组合因子的相关系数一般比原来3个格点的相关系数绝对值大,也就是拟合和预报能力有提高,且较稳定。

### 3.2 用组合因子建立权重回归方程

如上述2个组合因子  $X_A, X_B$ , 其相关系数为  $R_A, R_B$ 。令相关系数绝对值的和为  $E$ , 则

$E = R_A + R_B, E = 0.723$ , 权重回归系数为:

$$A = R_A / E = 0.5177, B = R_B / E = - 0.4823。$$

权重回归方程为:

$$Y_1 = A X_A + B X_B \quad (3)$$

上述回归方程综合2个组合因子。计算  $Y_1$  与预报对象  $Y$  的相关系数是:  $R_{Y_1} = 0.445$ 。相关系数  $R_{Y_1}$  比各个单因子和各个组合因子的相关系数有明显提高。

### 3.3 二项式方程的建立

由高度场格点资料代入(1)到(3)式得到自变量  $Y_1$  和预报对象  $Y$  是按等时间取样的等间隔值。适用正交多项式。令  $X = Y_1$  则:

$$Y_i = a_0 + a_1 X_i + a_2 X_i^2 + \dots + a_k X_i^k \quad (4)$$

上式  $Y_i$  为预报对象(即热带气旋强度),  $X_i$  为海温场格点的综合预报因子。

方程(4)的系数  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$  可由正规方程组求得。把(3)式计算得到的  $Y_1$  历史资料, 作为预报因子, 代入方程(4), 得到2阶方程, 即二项式方程:

$$Y = 298.06309112 + 1.79702409X + 0.0029729X^2 \quad (5)$$

二项式方程(5)中  $Y$  与  $X$  的相关系数  $R_{Y_2} = 0.456$ , 对比一项式方程(3)中  $Y$  与  $X$  的相关系数  $R_{Y_1} =$

表3 南海 TC 强度预测结果检验(前一年海温场)

Tab.3 Verification of TC intensity prediction using the preceding SST

年份	TC 强度预测结果						TC 强度实测结果					
	6月	7月	8月	9月	10月	年度	6月	7月	8月	9月	10月	年度
2001	STS	STS	STS	STS	TY	STY	TY	TY	TS	STS	无	STY
2002	TS	STS	TY	STS	TD	STY	TD	TS	STS	STS	无	STS
2003	TS	STS	TY	TY	TS	STY	无	STY	TY	STY	TD	STY
2004	STS	STS	TY	TY	STS	STY	TY	TS	TY	TS	无	TY
2005	TS	TY	TY	TY	TY	STY	无	TY	STS	STY	TY	STY
评定	60%	90%	100%	90%	60%	90%	60%	90%	100%	90%	60%	90%

0.445, 有提高。这符合非线性预报的突变理论。

### 3.4 二项式方程的拟合情况

相关系数越高, 一般来说, 预报对象与预报因子的拟合率越高, 也就是说,  $Y$  与  $X$  有二项式(5)的分布规律。1949~ 2004年1月份 SST 海温场与7月影响南海 TC 强度的拟合率达95%。

### 3.5 二项式方程的预测结果

把2005年1月6个海温场格点资料: 48, 47, 62, 228, 238, 229 分别代入(1), (2)式后, 再代入(3)式可得  $X = - 253.888862876114$ 。

把  $X = - 253.888862876114$  代入方程(5)得到: 2005年7月影响南海 TC 强度的预测值:  $Y = 33.45$  (m/s)。7月影响南海 TC 强度的多年平均值 34.321 m/s(TY), 而2005年7月影响南海 TC 强度实况为33 m/s(TY)。

## 4 预报检验

应用上述热带气旋强度气候预测系统, 分别用500 hPa 高度场格点资料、海温场(SST) 格点资料, 做影响南海 TC 年、月强度预测。一般来说, 当强度预测值与实况强度级差小于等于1级时, 评定预报准确。下面是热带气旋强度气候预测系统的检验结果。

### 4.1 海温格点资料做影响南海 TC 强度预报结果验证

用前一年冬季海温场(11~ 2月) 做次年影响南海 TC 强度预测, 检验结果表明: 使用2月份海温场预测6~ 9月影响南海 TC 强度的效果较其他月份好, 1月海温场对7月影响南海 TC 强度预测较好, 11, 12月海温场对次年10月影响南海 TC 强度预测较好, 各月份海温场预测年度 TC 强度的结果都相当稳定。2001~ 2005年南海 TC 强度预测结果检验(前一年海温场) 见表3。

检验结果表明,用前一年冬季海温场(11~2月)做影响南海TC强度预测,5年综合预报准确率为85%。

#### 4.2 500 hPa 格点资料做热带气旋的年强度预报结果验证

用前一年冬季(11~2月)500 hPa 高度场做影

表4 南海TC强度预测结果检验(500 hPa 高度场)

Tab.4 Verification of TC intensity prediction using the preceding 500 hPa

年份	TC 强度预测结果						TC 强度实测结果					
	6月	7月	8月	9月	10月	年度	6月	7月	8月	9月	10月	年度
2001	STS	STS	STS	STS	STS	STY	TY	TY	TS	STS	NO	STY
2002	TS	STS	STS	STS	STS	TY	TD	TS	STS	STS	NO	STS
2003	TS	TY	TY	TY	TD	STY	NO	STY	TY	STY	TD	STY
2004	STS	STS	TY	TS	STS	TY	TY	TS	TY	TS	NO	TY
2005	TS	TY	STS	TY	TY	STY	NO	TY	STS	STY	TY	STY
评定	80%	100%	100%	100%	40%	100%	80%	100%	100%	100%	40%	100%

检验结果表明,用前一年冬季(11~2月)500 hPa 高度场做影响南海TC强度预测,5年综合预报准确率为87%。

通过上述检验,说明前一年冬季环流场对次年6~10月以及年度影响南海的TC强度有良好的预测能力,其中使用2月500 hPa 高度场和SST场较其

表5 各月南海台风强度预报检验

Tab.5 Verification of monthly TC intensity prediction

月份	气旋中心风力 历年平均值(m/s)	2007年高度场 预报风力(m/s)	2007年海温场 预报风力(m/s)	2007年综合 预报风力(m/s)	2007年 实际风力(m/s)	2008年综合预 报风力(m/s)
6	25.3	19.6(TS)	20.8(TS)	20~22(TS)	-	23~25(TS)
7	34.0	30.9(STS)	38.0(TY)	36~40(TY)	23(STS)	30~32(STS)
8	35.5	40.7(TY)	38.6(TY)	46~50(STY)	50(STY)	34~36(TY)
9	37.8	38.6(TY)	37.0(TY)	37~38(TY)	20(TS)	38~40(TY)
10	33.5	32.5(STS)	38.2(TY)	34~38(TY)	33(TY)	34~36(TY)
2007年	48.0	50.5(STY)	46.2(STY)	48~50(STY)	50(STY)	40(TY)

注:历年表示1949~2006年

## 5 结论

### 5.1 南海TC活动存在强度和频数的年代际变化

1949~1954年、1964~1974年和1985~1995年,南海的热带气旋频数偏多,而且强度偏强。1955~1963年、1975~1984年和1997~2005年是南海TC频数少且强度弱的年代。从1949年以来,南海TC有10年左右的周期变化。

### 5.2 南海TC存在月际变化

历年6~11月南海TC发生的次数占历年总数的绝大多数(513/579),约占89%。而其余月份南

响南海TC强度预测(表4),检验结果表明:2月份高度场预测6~9月影响南海TC强度的效果较其他月份好,12月高度场对7月影响南海TC强度预测较好,各月份高度场对8月、9月以及年度TC强度的结果都相当稳定。

他月份的好。

### 4.3 2008年南海热带气旋的强度预报和2007年强度试预报结果验证

根据近期海温场,500 hPa 高度场与南海各月台风影响时最大风力进行相关统计预报,现把2007年的检验和2008年预报列出见表5,供参考。

海TC发生的次数少,强度也较弱。

6~11月南海发生台风以上202月次,占历年(342月次)同期约57%。其中7~10月份是台风发生最多的月份,历年发生严重灾害的强台风、超强台风共62月次,平均每年1月次。南海TC的强度空间分布具有明显月际变化特征。

### 5.3 使用格点资料,建立南海TC二次多项式预报方程方法,预报效果良好

使用500 hPa和海温的格点资料,建立南海TC的强度二次多项式预报方程,制作6~10月和年度的南海TC强度预测,效果良好。检验结果表明,用海温场(11~2月)做预测,5年综合预报准确率为

85%;用 500 hPa 高度场(11~2月)做预测,5年综合预报准确率为 87%。其中使用 2月 500 hPa 高度场和 SST 场较其他月份的好。

参考文献:

- [1] 朱乾根,陈敏.西北太平洋登陆热带气旋的统计特征[A].中国气象科学研究院.第十二届全国热带气旋科学讨论会论文集[C].北京:中国气象科学研究院,2002.15-18.
- [2] 丁一汇,莱特 E R.影响西太平洋和北大西洋热带气旋发生频数相关的大尺度环流分析[J].海洋学报,1984,6(4):542-552.
- [3] 耿淑琴,夏冬冬.我国近海热带气旋活动的气候特征及其与大尺度环境场的关系[J].海洋学报,2006,28(4):36-42.
- [4] 马丽萍,陈联寿,徐祥德.全球热带气旋活动与全球气候变化相关特征[J].热带气象学报,2006,22(2):147-154.
- [5] 周俊华,史培军,陈学文.1949~1999年西北太平洋热带气旋活动时空分异研究[J].自然灾害学报,2002,11(3):44-49.
- [6] 端义宏,余晖.热带气旋强度变化研究进展[J].气象学报,2005,63(5):636-645.
- [7] 余晖,端义宏.西北太平洋热带气旋强度变化的统计特征[J].气象学报,2002,60(6):680-687.
- [8] 陈德全,贺芳芳.登陆我国热带气旋频数和强度变化的气候特征[J].气象,1989,15(6):10-14.
- [9] 谢定升,翁向宇,曾琮.热带气旋的路径及登陆预报[J].气象科技,2004,32(1):35-38.
- [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[J].气象学报,2001,59(4):429-439.
- [11] 林惠娟,张耀存.影响我国热带气旋活动的气候特征及其太平洋海温的关系[J].热带气象学报,2004,20(2):218-224.
- [12] 孙秀荣,端义宏.对东亚夏季风与西北太平洋热带气旋频数关系的初步分析[J].大气科学,2003,27(1):67-74.
- [13] 谢定升,张晓辉,梁凤仪.热带气旋的年月频数预测[J].海洋预报,2000,17(4):66-68.
- [14] 谢定升,翁向宇,曾琮.热带气旋气候学模型的预报应用[J].海洋科学,2004,28(4):52-57.

## A study on the climate characteristics and the intensity prediction of the tropical cyclones affected in the South China Sea

LIANG Jian, LI Xiao-Juan, XIE Ding-sheng, WENG Xiang-yu

(Guangzhou Central Meteorological Observatory, Guangzhou 510080, China)

Received: Jul. 12, 2008

Key words: tropical cyclone affecting the South China Sea; climate change; intensity prediction and verification

**Abstract:** Based on the frequency and intensities of the tropical cyclones (TCs) affected the South China Sea (SCS) from June to October in 1949~2007, the climatic characteristics and the secular variation trend were analyzed. The result shows the TCs affected SCS have a quasi-decadal oscillation in recent 50 years and there are two kinds of variation periods, one is the frequently-occurring stage of strong typhoon during 1964~1974 and 1985~1995, the other is a low occurring frequency and weak intensity stage during 1997~2005. By the spatial analysis, two intensified significant areas were found out to be the area north to Zhongsha and the area east to Dongsha. The monthly intensity of the TCs has an obviously different spatial distributions and seasonal variations of the intensified channel.

The correlation coefficients between the monthly mean geopotential height in Northern Hemisphere of 500 hPa, the monthly mean SST of the North Pacific Ocean, and the intensity of the TCs affected in SCS (1949~2007) were calculated. By analyzing the statistical characteristics of those highly significant regions, several high correlated factors were selected and combined to construct the binomial equations. This prediction model has a high fitting ability and performs well in the operation.

(本文编辑:刘珊珊)