

# 1951 ~ 2004 年登陆我国热带气旋频数和强度的变化

王小玲, 任福民

(国家气候中心 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081)

**摘 要:** 通过分析 1951 ~ 2004 年登陆我国热带气旋频数和强度的变化, 结果表明, 登陆热带气旋频数呈减少趋势, 50 ~ 60 年代登陆热带气旋频数较多, 1991 ~ 2004 年是热带气旋登陆我国的最少时期。1951 ~ 2004 年间登陆强度为强台风和超强台风的热带气旋频数呈显著减少趋势。最大登陆强度在 50 ~ 70 年代, 近几年是偏弱气候阶段。平均登陆强度没有明显变化。登陆热带气旋的破坏潜力存在明显的年代际变化, 50 ~ 70 年代初明显偏强。登陆热带气旋平均强度的减弱和具有较强强度登陆热带气旋频次的减少引起破坏潜力的减弱。

**关键词:** 登陆; 频数; 强度

**中图分类号:** P731 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003 - 0239 (2008) 1 - 0065 - 09

## 1 引言

我国主要受来自西北太平洋热带气旋的影响<sup>[1-2]</sup>。Ren<sup>[3]</sup>等定义影响我国的热带气旋为在我国大陆或台湾、海南两个大岛屿造成降水的热带气旋, 包括登陆和仅经过我国近海的热带气旋, 平均每年影响我国的热带气旋有 16.8 个<sup>[4]</sup>。登陆热带气旋由于直接正面袭击, 对所经过地区的生命财产带来重大损失。2006 年 8 月 10 日, “桑美”登陆我国浙江时中心附近最大风速为 60m/s, 达到超强台风强度, 强度之强, 为近些年来少见。研究登陆我国热带气旋频率和强度的变化具有重要意义。对登陆我国热带气旋的气候变化研究主要集中于频数变化, 登陆热带气旋频率自 20 世纪 50 年代以来具有明显的年代际变化特征, 90 年代中后期以来是热带气旋登陆我国偏少的气候阶段<sup>[5-7]</sup>, 登陆台风频数在 1951 ~ 1991 年间发生了 3 次突变<sup>[8]</sup>, 厄尔尼诺年登陆热带气旋偏少, 拉尼娜年登陆热带气旋频数偏多<sup>[9-10]</sup>, 而对登陆热带气旋强度的变化研究结果不多。任福民<sup>[11]</sup>等整理了一套登陆我国热带气旋的信息化资料, 使量化研究登陆热带气旋强度的变化成为可能。本文利用 1951 ~ 2004 年登陆我国的热带气旋信息化资料, 从频数和强度两个方面分析登陆热带气旋的变化特征, 首先分析登陆热带气旋频数的长期趋势和年代际变化, 而后重点讨论登陆热带气旋强度的变化, 包括达到不同登陆强度热带气旋频数的变化, 登陆平均强度和最大强度的变化以及登陆热带气旋破坏潜力的变化。

## 2 资料和方法

收稿日期: 2007-04-30; 修订日期: 2007-11-30

课题资助: 自然科学基金项目(40775046)和 973 项目(2006CB403601)

作者简介: 王小玲 (1976-), 女, 工程师, 从事气候变化研究工作。

## 2.1 资料简介

1951 ~ 2004 年在西北太平洋生成的热带气旋资料来自上海台风研究所, 包含 6 小时一次的热带气旋中心位置和中心附近最大风速, 70 年代以后由于引入卫星和飞机等观测手段, 后一时期的观测资料更为可靠和精确<sup>[12]</sup>。同时期登陆我国的热带气旋信息化资料来自国家气候中心<sup>[11]</sup>, 包括热带气旋登陆时的中心附近最大风速和地理位置。

## 2.2 方法简介

根据不同时刻的热带气旋中心附近最大风速  $U$ , 给出以下定义:

登陆强度-热带气旋登陆时刻的中心附近最大风速;

最大登陆强度-当年极端最大登陆强度;

平均登陆强度-当年登陆强度的平均值;

登陆热带气旋强度-登陆热带气旋生命期极端最大风速;

登陆热带气旋平均强度-当年登陆热带气旋强度的平均值;

登陆热带气旋平均生命期-当年登陆热带气旋 6 小时一次的平均记录次数, 记录次数越多, 表示生命期越长。

依据中国气象局制定的最新热带气旋等级<sup>[13]</sup>和本研究需求, 将热带气旋分为 7 个等级, 热带弱低压 (WTD),  $U < 10.8 \text{ m/s}$ ; 热带低压 (TD),  $10.8 \text{ m/s} \leq U < 17.2 \text{ m/s}$ ; 热带风暴 (TS),  $17.2 \text{ m/s} \leq U < 24.5 \text{ m/s}$ ; 强热带风暴 (STS),  $24.5 \text{ m/s} \leq U < 32.7 \text{ m/s}$ ; 台风 (TY),  $32.7 \text{ m/s} \leq U < 41.5 \text{ m/s}$ ; 强台风 (STY),  $41.5 \text{ m/s} \leq U < 51 \text{ m/s}$ ; 超强台风 (SuperTY),  $U \geq 51 \text{ m/s}$ 。

为了更全面地研究登陆热带气旋频数变化和强度的分布, 登陆热带气旋资料中包含登陆强度低于热带风暴的记录, 本文统计的登陆热带气旋总频数为登陆我国的所有热带气旋, 包含登陆强度为热带低压和热带弱低压的热带气旋。

Gray 等<sup>[14]</sup>定义热带气旋破坏潜力 (TDP) 为当年热带气旋生命期中心附近最大风速  $U$  的累积平方和:

$$TDP = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m U_i^2 \quad (1)$$

其中  $m$  表示热带气旋频数,  $n$  表示每一个热带气旋的记录次数。

TDP 同时考虑了热带气旋的生命期和强度, 反映了热带气旋的能量积蓄, 生命期越长、强度越大, 热带气旋积蓄的能量就越多, 其破坏力也越大。Chan 等<sup>[15]</sup>曾用 TDP 研究西北太平洋台风活动强度的变化。TDP 与 ACE<sup>[16]</sup>和 PDI<sup>[17]</sup>指数具有相同的物理意义, 三者均放大了热带气旋生命期中较大强度记录的影响。利用公式 (1), 本文计算了登陆我国热带气旋的破坏潜力。

使用最小二乘法计算序列的线性趋势, 其统计显著性采用 Kendall-Tau<sup>[18]</sup>方法检验。本文的气候平均值为 1971 ~ 2000 年的平均值。

3 登陆热带气旋频数的年代际和年际变化

3.1 登陆热带气旋总频数的变化特征

1951~2004 年间登陆我国的热带气旋总数为 490 个, 平均每年有 8.8 个, 最少年份有 4 个(1982 年), 最多年份有 15 个(1952 年)。图 1a 为 1951~2004 年登陆我国热带气旋的频数演变。登陆热带气旋频数具有明显的年代际变化, 50~70 年代中期登陆热带气旋频数呈减少趋势, 而同时期在西北太平洋生成的热带气旋和影响我国的热带气旋则呈增加趋势<sup>[4]</sup>, 80 年代略有增加, 进入 90 年代又呈减少趋势, 自 1991 年以来(1994 和 1995 年除外), 登陆热带气旋频数均不超过 10 个/年(见表 1), 50 年代和 60 年代登陆热带气旋频数较多, 其次是 80 年代, 70 年代相对较少, 1991~2004 年是热带气旋登陆我国的最少时期, 年平均登陆频次只有 8.1 个, 为各年代平均频次最低值。登陆热带气旋频数在 1951~2004 年的线性减少趋势为-0.4 个/10a, 在统计意义上不显著。在 1982~1983 和 1997~1998 年是典型的 ENSO 暖位相年<sup>[19]</sup>, 登陆我国的热带气旋频数均较少, 值得注意的是, 在 ENSO 暖事件爆发当年(1982 和 1997 年), 登陆热带气旋频数少于次年(1983 和 1998 年)。

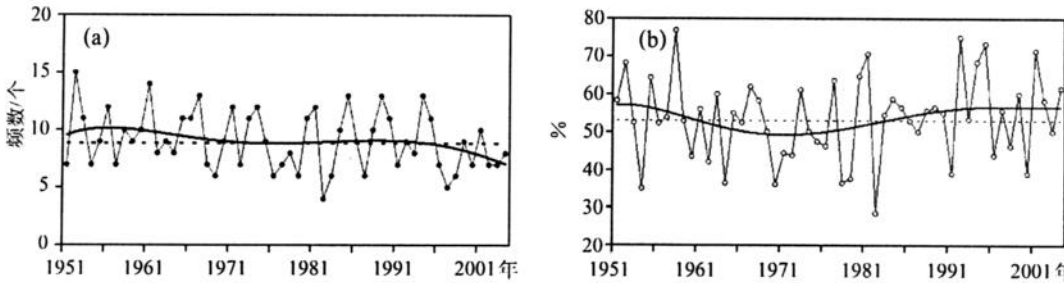


图 1 1951~2004 年(a)登陆我国的热带气旋频数(b)占影响我国热带气旋频数的比例, 粗实线为 5 阶多项式拟合, 虚线为气候平均值

图 1b 给出登陆热带气旋频数占影响热带气旋频数的比例变化曲线。在影响我国的热带气旋<sup>[4]</sup>中, 有 53% 为登陆热带气旋, 最少年份为 29%, 最多年份可达 77%。50~60 年代登陆热带气旋频数占影响热带气旋频数的比例呈减少趋势, 70~90 年代初呈增加趋势, 此后保持相对稳定状态。

表 1 不同时期登陆我国的热带气旋频数

时期 (年)	1951 ~ 1960	1961 ~ 1970	1971 ~ 1980	1981 ~ 1990	1991 ~ 2004
总频数/个	97	96	89	94	114
平均频数/个	9.7	9.6	8.9	9.4	8.1

3.2 不同登陆强度热带气旋频数的变化

表 2 1951 ~ 2004 年不同登陆强度的热带气旋频数、比例以及线性趋势

强度	U 17.2ms <sup>-1</sup>	U 24.5ms <sup>-1</sup>	U 32.7ms <sup>-1</sup>	U 41.5ms <sup>-1</sup>	U 51.0ms <sup>-1</sup>
总频数/个	373	297	173	50	15
平均频数 (1971 ~ 2000)	7.0	5.7	2.8	0.6	0.2
百分比 (%)	76	61	35	10	3
线性趋势 (个/10a)	0.05	0.05	-0.20	-0.25*	-0.12*

注: \*表示达到 99.9%统计显著水平

表 2 给出不同登陆强度的热带气旋频数及其线性趋势值。热带气旋在登陆时刻 24% 为热带低压和热带弱低压, 76% 达到热带风暴及以上强度, 35% 达到台风及以上强度, 10% 达到强台风及以上强度, 仅有 3% 达到超强台风强度。由表 2 不难看出, 登陆强度为强热带风暴和台风的热带气旋比例分别为 26% 和 25%, 占总数的一半。登陆时达到超强台风强度的热带气旋在 1951 ~ 2004 年仅有 15 个。

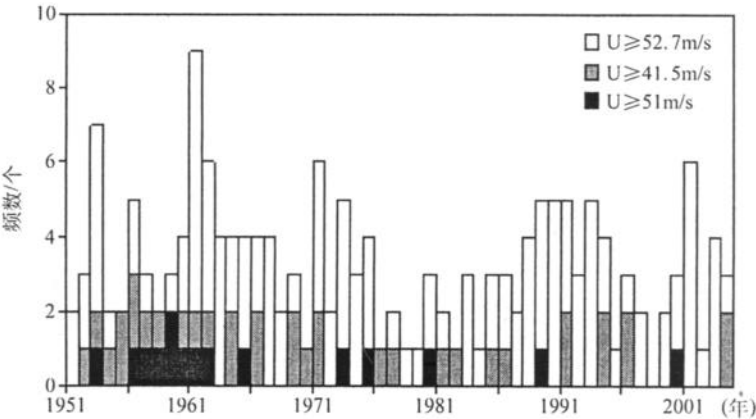


图 2 1951 ~ 2004 年登陆强度分别达到台风及以上( $U \geq 32.7\text{m/s}$ )、强台风及以上( $U \geq 41.5\text{m/s}$ )和超强台风( $U \geq 51\text{m/s}$ )的热带气旋频数演变

1951 ~ 2004 年, 登陆强度达到热带风暴及以上强度和强热带风暴及以上强度的热带气旋频数均没有明显的趋势变化; 登陆强度达到台风及以上的热带气旋频数呈弱的减少趋势; 而登陆强度达到强台风及以上强度和超强台风强度的热带气旋频数均呈显著减少趋势, 趋势值达到 99.9% 统计显著水平。图 2 为 1951 ~ 2004 年登陆强度达到台风及以上强度、强台风及以上强度和超强台风强度的热带气旋频数变化曲线。登陆强度达到台风及以上强度的热带气旋频数存在两个偏多阶段, 1951 ~ 1975 年和 1988 ~ 1994 年, 1976 ~ 1987 年和 1995 年起为偏少阶段。登陆强度达到强台风及以上的热带气旋在 50 ~ 60 年代出现的频次较多, 为 29 个, 70 年代起明显减少, 1971 ~ 2004 年的频次仅为 21 个, 自 1997 年以来, 仅有 2 年出现登陆强度达到强台风及以上的热带气旋。对于登陆强度为超

强台风的热带气旋来说,1956~1962 年为频繁发生阶段,共出现 8 个,占总数的一半以上,1959 年为 2 个,也是历史上出现最多的年份;1980 年以来仅出现过两次。陈联寿<sup>[12]</sup>等指出,在西太平洋生成的强台风频数在 1949~1971 年的平均频数比 1972~1994 年高一倍以上,这主要是因为 70 年代开始利用卫星和飞机等观测手段更能精确地确定热带气旋的强度。登陆强度达到强台风及以上的热带气旋频数在 70 年代起的明显减少也与观测手段的改变有关。

## 4 登陆热带气旋强度的变化

### 4.1 登陆强度的变化

图 3 给出热带气旋平均登陆强度和最大登陆强度的变化。平均登陆强度主要为热带风暴和强热带风暴,仅有 3 年为台风,1962 年平均强度为最大,37m/s,1991 年次之,36m/s。1962 年有 8 个热带气旋登陆,其中 6 个登陆强度达到台风强度,同样在 1991 年的 7 个登陆热带气旋中,有 5 个登陆强度为台风。1951~2004 年平均登陆强度呈波动变化,不存在明显的趋势。最大登陆强度以台风最多,共有 21 年,占总数的 39%,强台风占 1/3,超强台风占 26%。最大登陆强度在 50~70 年代处于偏强时期,其中 50 年代明显偏强。1958~1962 年是最大登陆强度持续异常偏强时期,这期间最大强度均超过 60m/s,1959 年达历史最大值,78.1 m/s。近几年来最大强度持续偏弱,但仍不难看出有增强的趋势。1998 年的最大强度仅为 30m/s,为历史最低值,也就是说,在这一年,在我国没有出现登陆强度为台风的热带气旋,这也是自 1951 年以来唯一没有出现登陆强度为台风的年份。

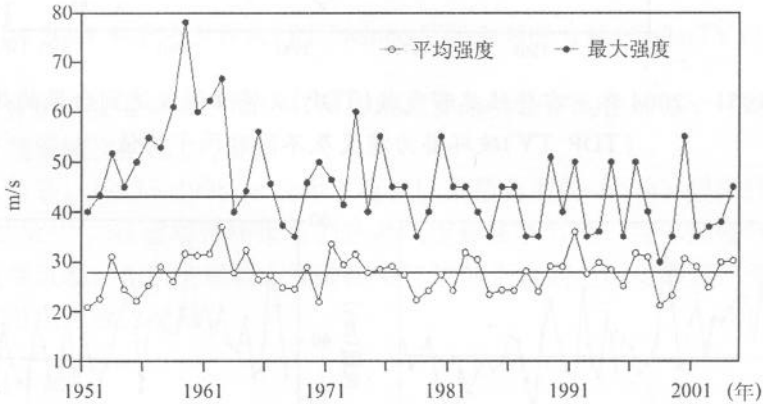


图 3 1951~2004 年热带气旋最大登陆强度和平均登陆强度变化及平均值

### 4.2 登陆热带气旋破坏潜力的变化

图 4 为登陆热带气旋的破坏潜力演变,图中直线分别为 1951~1974 年和 1975~

2004 年的平均值。所有登陆热带气旋和登陆强度达到台风的热带气旋破坏潜力存在明显的年代际变化, 1975 年以前热带气旋破坏潜力较强, 此后进入偏弱气候阶段, 80 年代中后期略有增强。而 Emanuel<sup>[17]</sup>的研究表明, 西太平洋和大西洋的 PDI 指数呈增强趋势, 这在很大程度上与所使用的热带气旋资料集有关<sup>[20]</sup>。热带气旋破坏潜力还存在明显的年际变化, 1953 年为热带气旋破坏潜力最大年, 1971 年次之, 1998 年为最小年。登陆强度为台风的热带气旋破坏潜力对热带气旋总破坏潜力的贡献平均达一半以上, 1956 ~ 1966 年期间有 8 年贡献率均超过 70%, 1953 年贡献率最大, 为 98%。

热带气旋生命期长短和强度决定了其破坏潜力的大小, 生命期越长、强度越大, 则破坏潜力越大。图 5 为 1951 ~ 2004 年登陆热带气旋平均生命期和平均强度演变曲线。登陆热带气旋的平均生命期在 60 ~ 80 年代偏长, 50 年代和 90 年代以后为偏短期, 1998 年为最短, 此后又有所增加。登陆热带气旋的平均强度在 50 ~ 70 年代初处于偏强气候阶段, 此后维持相对稳定, 90 年代起明显减弱, 1998 年以来的 7 年是历史上持续最弱时期。

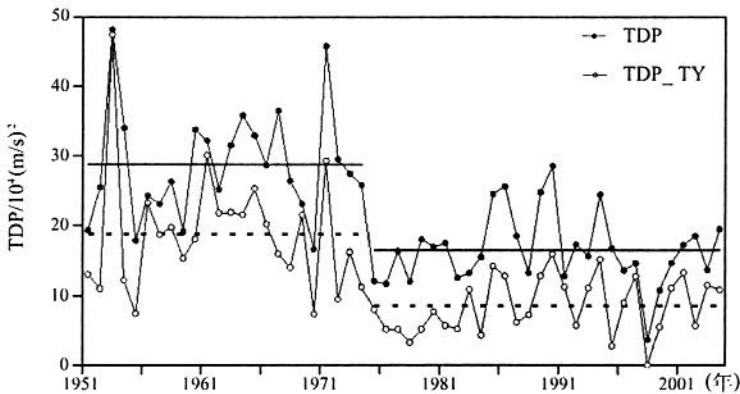


图 4 1951~2004 年所有登陆热带气旋(TDP)及登陆强度达到台风的热带气旋 (TDP\_TY)破坏潜力演变及不同时段平均值

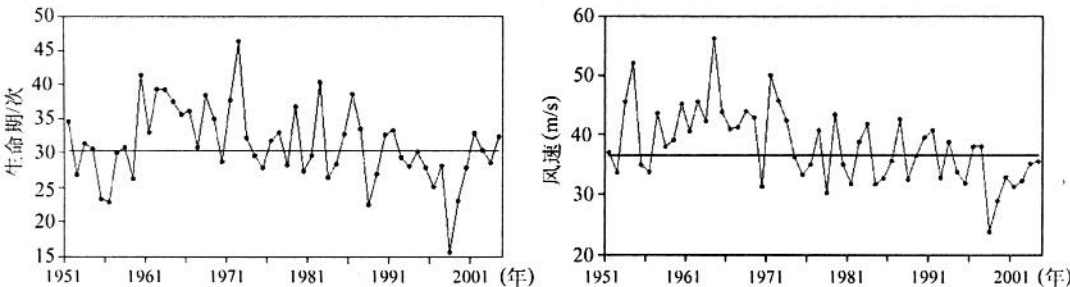


图 5 1951~2004 年登陆热带气旋平均生命期(a)和平均强度(b)及气候平均值

热带气旋频次也影响着破坏潜力的强弱,尤其是强度较强的热带气旋对破坏潜力的贡献很大。图 6 为登陆强台风和登陆超强台风频次演变,即生命期强度达到强台风及以上和超强台风的登陆热带气旋。1951~2004 年登陆强台风和超强台风频次呈显著减少趋势,趋势值分别为 $-0.6$ 个/10a 和 $-0.5$ 个/10a。1974 年以前,不仅达到强台风强度的登陆热带气旋多,而且其中有一半以上为超强台风(甚至均为超强台风),平均有 2 个超强台风登陆我国,最多可达 6 个;1974 年以后,每年一般有 1 个超强台风登陆,自 1998 年起,仅有 2 个超强台风登陆。1971、1998、1999 和 2001 年没有强台风登陆。1971 年的热带气旋破坏潜力仅次于 1953 年,这两年均有 7 个登陆热带气旋达到强台风强度,1971 年达到超强台风强度的频次比 1953 年还多 2 个,但在 1953 年的 4 个超强台风中,有两个的极端最大风速分别达到了  $80\text{m/s}$  和  $90\text{m/s}$ ,因而 1953 年的破坏潜力最大。

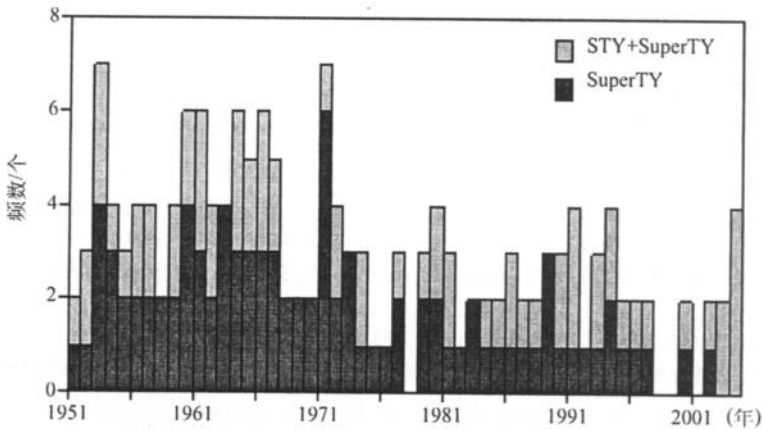


图 6 1951~2004 年登陆强台风(STY+SuperTY)和超强台风(SuperTY)频数演变

综合以上分析,登陆热带气旋破坏潜力的减弱趋势由平均生命期、平均强度和具有较强强度热带气旋频次的减少引起。

值得注意的是,1997~1998 年发生了有史以来最典型的 ENSO 暖事件,暖事件于 1998 年 5 月结束<sup>[19]</sup>。在暖事件结束后的热带气旋登陆季节里,当年热带气旋登陆最大强度仅为强热带风暴,为历史最弱,登陆热带气旋的生命期为历史最短,平均强度为历史最弱,没有出现强台风登陆。

## 5 结论与讨论

通过分析 1951~2004 年登陆我国的热带气旋的频数和强度变化,结果表明:

(1) 登陆热带气旋频数呈减少趋势,50~60 年代登陆热带气旋频数较多,1991~2004 年是热带气旋登陆我国的最少时期。1951~2004 年登陆强度为强台风和超强台风的热带气旋频数呈显著减少趋势。

(2) 热带气旋最大登陆强度在 50~70 年代处于偏强时期,近几年是最大强度偏弱

时期,但仍不难看出有增强的趋势。平均登陆强度没有明显趋势变化。登陆热带气旋的破坏潜力存在明显的年代际变化,50~70年代初处于偏强气候阶段,此后进入偏弱期。

(3) 登陆热带气旋的平均生命期在60~80年代偏长,50~90年代以后相对偏短。登陆热带气旋的平均强度在50~70年代初为偏强阶段,90年代起明显减弱。平均生命期的缩短、平均强度的减弱和具有较强强度的频数的减少直接导致了登陆热带气旋破坏潜力的减弱。

(4) 70年代以后卫星和飞机等观测手段的引入更为精确地确定了热带气旋的强度,最大登陆强度的减弱、具有较强强度登陆热带气旋频数的显著减少、破坏潜力的减弱以及登陆热带气旋平均强度的减弱在一定程度上与观测手段的改变有关。

### 参考文献:

- [1] 陈联寿,丁一汇. 西太平洋台风概论[M]. 北京:科学出版社,1979.
- [2] 王继志. 近百年西北太平洋台风活动[M]. 北京:海洋出版社,1991.
- [3] Ren Fumin, Wang Yongmei, Wang Xiaoling, et al. Estimating tropical cyclone precipitation from station observations [J]. 2007, *Advances in Atmospheric Science* (accepted).
- [4] 王小玲,王咏梅,任福民,等. 影响中国的台风频数的年代际变化趋势研究:1951~2004 [J]. *气候变化研究进展*, 2006, 2 (3): 135~138.
- [5] 叶英,董波. 登陆我国热带气旋活动的年代际变化分析[J]. *海洋预报*, 2002, 19 (2): 23~30.
- [6] 李英,陈联寿,张盛军. 登陆我国热带气旋的统计特征[J]. *热带气象学报*, 2004, 20 (1): 14~23.
- [7] 林慧娟,张耀存. 影响我国热带气旋活动的气候特征及其与太平洋海温的关系[J]. *热带气象学报*, 2004, 20 (2): 218~224.
- [8] 陈兴芳,晁淑懿. 台风活动的气候突变[J]. *热带气象学报*, 1997, 13 (2): 97~104.
- [9] 邓自旺,屠其璞,冯俊茹,等. 我国登陆台风频率变化与太平洋海表温度常的关系[J]. *应用气象学报*, 1999, 9 (2): 54~60.
- [10] 冯利华. 中国登陆热带气旋与太平洋海表温度的关系[J]. *地理学报*, 2003, 58 (2): 209~214.
- [11] 任福民,王小玲,陈联寿,等. 登陆中国热带气旋的气候特征研究——三类登陆(大陆、海南和台湾)TC及其相互关系[J]. *气象学报*, 2007.
- [12] 陈联寿,徐祥德,罗哲贤,等. 热带气旋动力学引论[M]. 北京:气象出版社,2002, 249.
- [13] 国家标准委员会. 热带气旋等级. 国家标准 GB/T 19201~2006, 2006.
- [14] Gray W M, Landsea C W, Mielke P W, et al. Predicting Atlantic seasonal hurricane activity 6~11 months in advance[J]. *Wea Forecasting*, 1992, 7: 440~455.
- [15] Chan J C L, Liu K S. Global warming and western North Pacific typhoon activity from an observational perspective[J]. *J Climate*, 2004, 17: 4590~4602.
- [16] Camargo S J, Soble A H. Western North Pacific tropical cyclone intensity and ENSO[J]. *J Clim*, 2005, 18, 2996~3006.
- [17] Emanuel K. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years[J]. *Nature*, 2005, 436 (4): doi: 1038/nature03906.
- [18] Sen P K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau[J]. *J Amer Stat Assoc*, 1968, 63: 1379~1389.
- [19] 李晓燕,翟盘茂,任福民. 气候标准值改变对 ENSO 事件划分的影响[J]. *热带气象学报*, 2005, 21 (1): 72~78.
- [20] Wang Xiaoling, Wu L G, Ren Fumin, et al. Influences of Tropical Cyclones on China During 1965~2004[J]. *Advances in Atmospheric Science* (accepted).



## Variations in frequency and intensity of landfall tropical cyclones over China during 1951 ~ 2004

WANG Xiao-ling , REN Fu-min

(Ren Fumin Laboratory for Climate Studies, CMA, National Climate Center , Beijing 100081 China)

**Abstract :** The frequencies and intensities of landfall tropical cyclones over China for the period of 1951 ~ 2004 are analyzed. Decreasing trend is found in annual number of landfall tropical cyclones during 1951 ~ 2004. There were more landfalls in 1950s and 1960s while the annual mean frequency was the least from 1991 to 2004. Significant downward trends are also found in the annual number of tropical cyclones achieving STY and SuperTY when making landfalls. The maximum landfall intensities were stronger from 1950s to 1970s and decreased in recent years. The mean landfall intensity didn't show any trend during 1951 ~ 2004. The TDP of landfall tropical cyclones showed significant interdecadal variations and were strong from 1951 to early 1970s. Decreasing in the mean intensity of tropical cyclones during lifetime and downward trends in the frequencies of landfalls achieving very strong intensities caused the decreasing in TDP.

**Keywords :** landfall ; frequency ; intensity