

巢清尘, 巢纪平. 2014. 影响中国及关键经济区热带气旋降水的气候趋势及极端性特征 [J]. 大气科学, 38 (6): 1029–1040, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2013.13246. Chao Qingchen, Chao Jiping. 2014. Climatic trends and extremes of tropical cyclone precipitation affecting China and its key economic zones [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 38 (6): 1029–1040.

影响中国及关键经济区热带气旋降水 的气候趋势及极端性特征

巢清尘¹ 巢纪平²

¹ 国家气候中心, 北京 100081

² 国家海洋环境预报中心, 北京 100081

摘 要 本文利用中国气象局上海台风研究所整编的《热带气旋年鉴》(1951~2010 年)最佳路径资料, 分析影响我国和关键经济区热带气旋 (TC) 降水量、降水强度以及不同等级降水 TC 频数的气候变化趋势, 研究结果表明, 影响全国的 TC 总降水量的年际变化幅度大, 年际差异显著。长江三角洲、珠江三角洲地区影响 TC 过程雨量年极值自 1970 年代开始缓慢上升, 表明近年来 TC 引起的极端性降水存在增加的可能。全国范围内自 1970 年代开始, 过程雨量大于 250 mm 的 TC 频数也在增加, 但长江三角洲、珠江三角洲地区发生极端性降水的 TC 频数并没有明显的增长。TC 造成的 24 小时降水极值的气候变化趋势不明显, 但是 1980 年代全国范围内的 24 小时降水极值存在跃变。长江三角洲、珠江三角洲地区日降水极值超过 250 mm 的 TC 频数自 1980 年代开始有缓慢增加趋势。全国范围、长江三角洲及珠江三角洲内 TC 小时降雨量年极值呈现振荡的周期变化, 而在年代际上没有明显的变化趋势。

关键词 热带气旋 降水 气候趋势 极端性 关键经济区

文章编号 1006-9895(2014)06-1029-12

中图分类号 P466

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2013.13246

Climatic Trends and Extremes of Tropical Cyclone Precipitation Affecting China and Its Key Economic Zones

CHAO Qingchen¹ and CHAO Jiping²

¹ National Climate Center, Beijing 100081

² National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081

Abstract In this study, 1951–2010 Tropical Cyclone (TC) Yearbook data from the Shanghai Typhoon Institute/China Meteorological Administration were used to investigate the evolution of precipitation characteristics of TCs that affect China and key economic zones, including the total precipitation and precipitation intensity, as well as the frequency of TCs of different precipitation grades. The results show that interannual variations in the total precipitation amount of TCs affecting China have been significant over the past 60 years. The annual maximum precipitation of TCs affecting the Yangtze River Delta and the Pearl River Delta have slightly increased since the 1970s, which means that the maximum precipitation due to TCs has possibly increased in recent years. Since the 1970s, the frequency of TCs in China with precipitation of more than 250 mm has increased, while the frequency of TCs affecting both deltas has not. The climate tendency of maximum precipitation in 24 h due to TCs is insignificant, but jumped during the 1980s. The frequencies of

收稿日期 2013-08-17, 2013-12-24 收修定稿

资助项目 “十二五” 国家科技支撑计划项目 2012BAC20B05

作者简介 巢清尘, 女, 1966 年出生, 研究员, 主要研究方向为气候诊断分析、气候变化科学与政策研究。E-mail: chaoqc@cma.gov.cn

TCs with daily maximum precipitation of more than 250 mm affecting the Yangtze River Delta and the Pearl River Delta have slowly increased since the 1980s. The frequencies of TCs with hourly maximum precipitation affecting China and both deltas show periodic variation, but no significant decadal change.

Keywords Tropical cyclones, Precipitation, Climatic trend, Extreme, Economic zones

1 引言

近年来,在热带气旋(TC)风雨影响及气候变化趋势方面国内外学者开展了较多的研究工作。如,Emanuel(2005)定义TC中心附近最大风速3次方的时间和空间积分为TC潜在破坏力指数(PDI),研究发现1949年至2003年北大西洋和太平洋TC的PDI有明显增大。尽管Emanuel(2005)的结论还存在许多争论,但其研究表明TC过程中近中心最大风速和气候变化(特别是海洋表面温度的变化)密切相关。张庆红等(2010)结合Emanuel(2005)的定义方式,综合考虑中国大陆TC的大风和强降水灾害,定义了TC尺度的总破坏力指数TDI和水汽总量指数TVI。研究发现,TC造成的经济损失与TDI、TVI的相关系数分别达到0.59和0.751,考虑水汽特征比单纯考虑传统意义上的强度更能表征TC影响力,说明TC降水的影响是TC产生破坏力的一个不可忽视的因子。韦青等(2010)利用GPCP(Global Precipitation Climatology Project)逐日卫星降水资料和上海台风研究所西北太平洋TC最佳路径资料,分析了近10年的西北太平洋TC降水分布,发现该区域多年平均TC降水为175 mm,TC降水占总降水的比例为12%。王咏梅等(2008)分析了中国TC的降水特征,发现TC降水自东南沿海至西北内陆逐渐减少,从时间上看,一般出现在4~12月,峰值出现在8月,但自1957~2004年期间,TC降水呈下降趋势。

从区域影响方面来看,乐群等(2000)通过对1884~1996年TC资料的分析,认为华南沿海登陆TC主要集中在6~11月,华东沿海主要集中在7~9月,且华南沿海登陆台风有明显的30、15、5年的变化周期,而华东有15、3~4年的变化周期,两者具有明显的区别。田辉等(1999)通过研究也得出相似的结论,同时他们指出副高脊线位置与华南沿海6~7月登陆TC数有显著的相关。钮学新等(2005)对1956~2000年间影响华东地区的TC降水进行了分类,指出华东登陆和华南登陆北上转向的TC会给华东带来强降水,近海北上的TC也会给局部地区造成大暴雨。贺海晏等(2003)分析了

1949~2000年以来登陆广东TC的气候特征,指出TC对广东省7~9月份的降水有重要贡献,同时1970年代中期是广东登陆TC数的气候跃变期。虽然前述的研究工作也侧重于区域分析,但是目前针对影响我国关键经济区域,如长江三角洲和珠江三角洲(简称长三角、珠三角)的TC降水分析,特别是针对这些区域的TC降水极端性的气候分析工作并不多见。

由于华南及华东沿海地区城市群不断发展,珠三角和长三角地区成为中国的主要经济区,而东南沿海也是我国最易遭受TC影响的区域,该地区每年因TC造成的经济损失极为严重。不仅如此,随着全球变暖,极端天气气候事件有增多的趋势,TC造成降水如何变化也是非常需要进一步深入研究的问题。本文利用1949~2010年以来共60年间影响中国及长三角、珠三角地区TC降水资料,分析我国关键经济区TC降水的变化趋势及其极端性变化的规律。

2 资料及方法

本文研究所用的降水资料来自中国气象局最佳路径数据集(1951~2010年),包括TC位置、强度、中心最大风速、风雨记录等,其中包括每一次TC影响我国过程中各测站的站名、影响时间、过程降水量、日最大值、降雨日数、暴雨日数、一小时降水最大值。

中国气象局《热带气旋年鉴》设定的影响标准有三个,分别是:过程雨量 ≥ 50 mm;或平均风速 ≥ 7 级或阵风 ≥ 8 级;或过程雨量 ≥ 30 mm且平均风速 ≥ 6 级或阵风 ≥ 7 级。确定一个TC是否影响全国或某一特定的区域,是根据这些区域内测站是否达到以上影响条件。为了保证研究资料的一致性和连续性,本文选取全国范围内所挑选的358个测站。这些测站的数据资料在所研究的时间范围内均保持完好的数据,并经过严格的质量控制。

而影响我国关键经济区的标准与影响全国台风的标准一致,所不同的是所选测站不一样,即从358个测站中选出若干属于关键区域的站点。因

此, 筛选影响长三角 TC 的指定判据测站为 358 个测站中分布在浙江、上海、江苏两省一市的测站共 32 个, 包括: 杭州、定海、嵊泗、鄞县、石浦、宁海、慈溪、临海、洪家、玉环、大陈岛、北几、洞头、绍兴、嵊县、诸暨、平湖、安吉、淳安、龙华、南汇、青浦、崇明、引水船、南京、东台、南通、吕泗、苏州、江阴、扬州、溧阳测站; 筛选影响珠三角 TC 的指定判据测站有 8 个, 包括: 广州、深圳、珠海、中山、东莞、惠来、惠阳、高要测站。

3 影响全国及关键经济区 TC 降水的一般特征

将每年 TC 影响的测站记录的过程降雨量累加可以得到年总降雨量。全国范围内 (图 1a、b), TC 年总降水量以 1951 年最小为 10978 mm, 最大为

1994 年的 67738 mm, 降水最多年份和最少年份差异特别大, 接近 6 倍, 由此可见 TC 降水的年变化有非常大的差异, 因此, TC 降水对我国年降水量影响较大, 特别是 TC 影响较大的华南、华东地区的夏秋季干旱与影响该地区的 TC 的关系极为密切。但从年代际演变趋势上看, 年总降水有下降的趋势, 这与王咏梅等 (2008) 的结论基本一致。长三角地区 (图 1c、d), 影响 TC 年总降水最多为 1990 年, 达到 11587 mm, 年总降水量除 1990 年外还有两个明显的峰值, 分别是 1962 年的 11087 mm 和 2005 年的 10665 mm, 而 1970 年代平均年总降水量最小, 不足 4000 mm。从年变化趋势看, 呈现明显的波动变化。而珠三角地区 (图 1e、f), 影响 TC 年总降水量 1964 年最大为 8049 mm, 1956 年最小仅为 167 mm。从年代际变化来看, 1950 年代至 1970 年代有上升趋势, 1980 年代突然减少至年总降水量

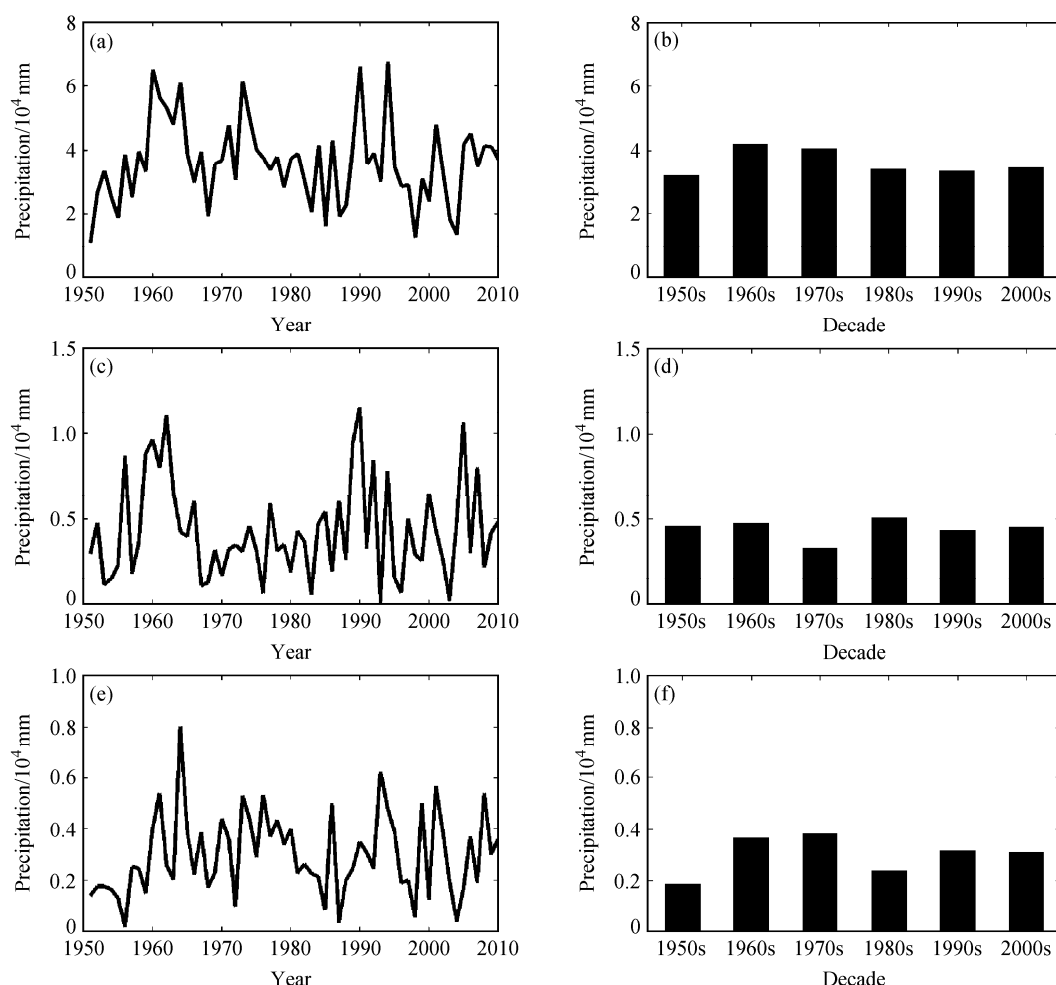


图 1 影响 TC 年总过程降雨量 (左列) 及年代际平均 (右列): (a、b) 全国; (c、d) 长三角; (e、f) 珠三角

Fig. 1 Annual total precipitation (left) and its decadal average (right) of affecting Tropical Cyclone (TC): (a, b) Over China; (c, d) over Yangtze River Delta; (e, f) over Pearl River Delta

不足 3000 mm, 1990 年代有所增加, 而从 1970 年代到 1980 年代, TC 年降水量经历了一次明显的变化过程, 1980 年代以后 TC 降水总量变化幅度明显增大, 无论是对于影响全国以及我国关键经济区, 都存在明显的大幅度变化, 因此, TC 降水对我国的旱涝产生有较大影响, 这也是值得研究的话题, 但是超出了本文的研究范围。

经过小波分析, 对影响全国及关键经济区的年降水总量的演变周期分析表明 (图略), 影响全国的 TC 年总降水量存在 15 年左右变化周期, 以 1950 年代至 1990 年代最为明显。1980 年代中期以后还存在 4~6 年的年际变化。影响长三角的 TC 年总降水量也存在 15 年的变化周期, 且该周期在 1990 年代以前比较明显。影响珠三角地区 TC 年总降水量 1950 年代至 1990 年代期间年际变化周期为 15 年左右, 1990 年代之后存在明显的年际变化周期为 6~8 年。

4 TC 降水的极端性及演变趋势

4.1 过程雨量年极值

根据 1951 年至 2010 年所有影响 TC 的台站记录, 统计出每一 TC 过程的最大过程雨量, 得到年极值并做年平均。图 2a 为影响全国的 TC 过程雨量年极值的演变。过程雨量年极值平均为 512 mm, 其中最大年极值是 2001 年 863 mm, 为海南东方站记录的 14 号台风 “Fitow”。年代际平均 1970 年代最大为 559 mm。自 1980 年代开始, 过程雨量极值有上升趋势。影响长三角 (图 2c、d) 的 TC 过程雨量平均约为 250 mm, 其中最大为 1951 年台风 “Marge”, 浙江定海站记录过程雨量极值达到 525 mm。从年代际变化来看 (图 2b), 自 1950 年代至 1980 年代末, 过程降雨量极值不断下降, 自 1990 年代开始有上升趋势。珠三角地区 (图 3e、f) 最大过程降雨量略大于长三角, 平均约为 300 mm, 最

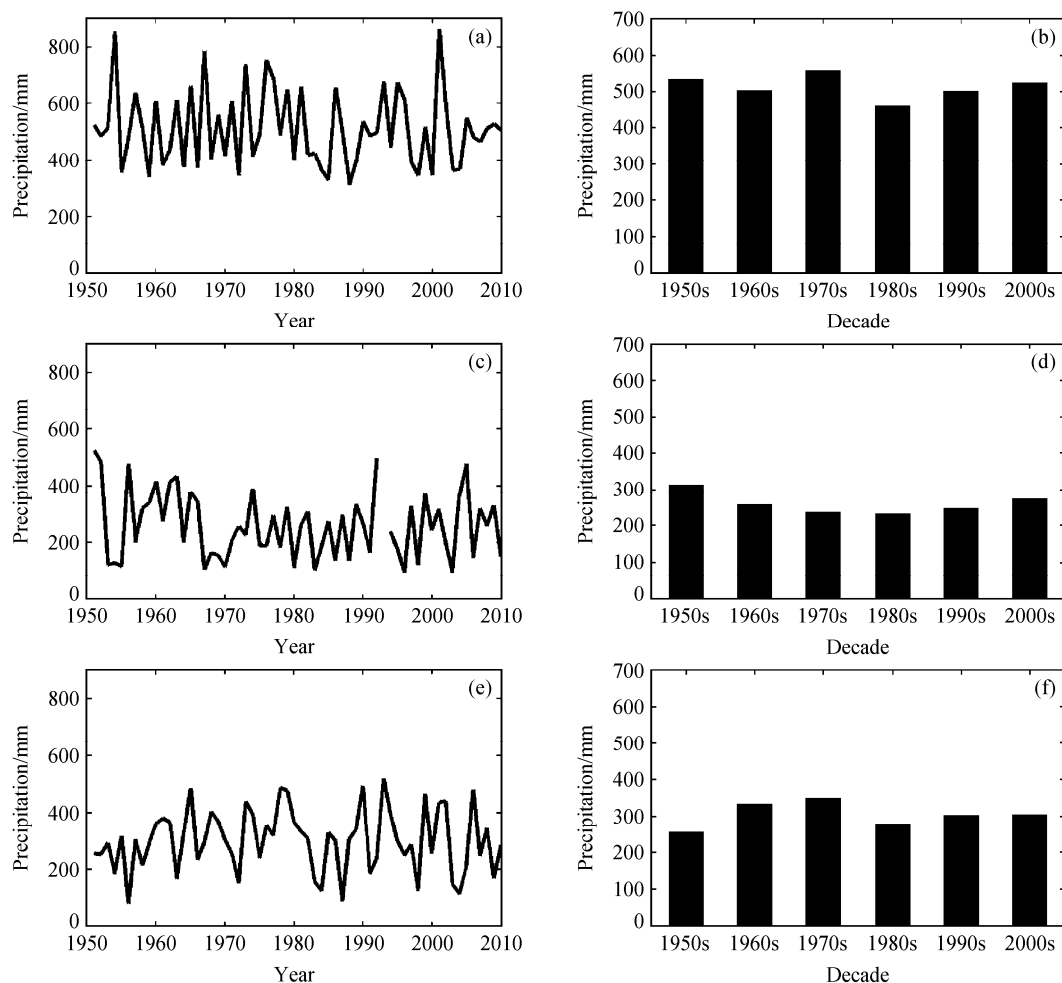


图 2 同图 1, 但为过程雨量极值

Fig. 2 Same as Fig.1, but for maximum of total precipitation

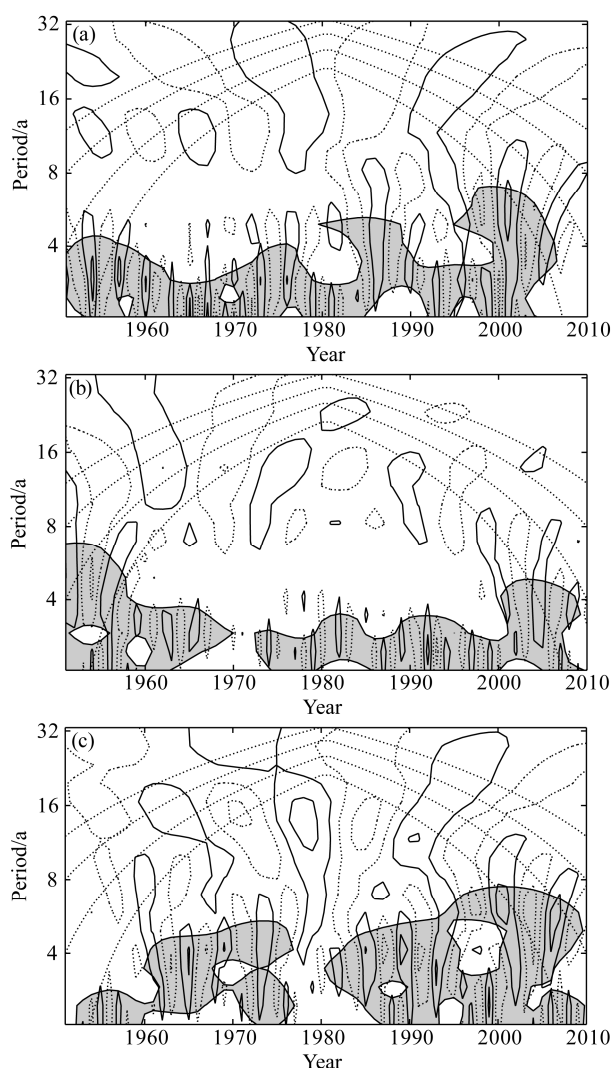


图3 影响 TC 过程雨量年极值周期分析: (a) 影响全国; (b) 影响长三角; (c) 影响珠三角

Fig. 3 Periodic analysis on annual maximum of total precipitation of affecting TC: (a) Over China; (b) over Yangtze River Delta; (c) over Pearl River Delta

大 1993 年 18 号台风“Dot”过程降雨极值达到 520 mm, 为广东深圳站测得。自 1950 年代至 1970 年代末有明显的上升趋势, 1980 年代突然下降, 1980 年代之后有缓慢上升的趋势。这表明 TC 引起的极端性降水可能在增加, 但是并不明显。

对影响全国的 TC 过程降雨量年极值做小波分析, 可以看出过程雨量极值在 1951~2005 年之间主要变化周期 (图 3a) 为 2~4 年, 1951~1980 年间存在 10~15 年的周期, 而 1980 年代之后则没有明显的年代际震荡, 取而代之的是 4~8 年周期。影响长三角 (图 3b) 的 TC 过程雨量年极值虽然在 1960 年代至 1990 年代存在 12~15 年的年代变化,

但是仍然以 2~4 年的变化周期为主。而影响珠三角地区 (图 3c) 过程雨量年极值在 1960 年代至 1990 年代之间有明显的年代振荡, 周期约为 15 年左右。但是, 1960 年代至 1970 年代、1980 年代以后存在 2~6 年的变化周期。因此, 过程雨量的极值的主要变化周期是 2~4 年, 但也存在较长周期 (15 年左右) 的变化, 这些变化与大气环流的长期变化是否有关联, 需要进一步研究。

4.2 TC 不同等级过程雨量出现频数及变化趋势

参考天气学上暴雨、大暴雨和特大暴雨标准, 将影响 TC 过程雨量等级划分阈值也定为 50 mm、100 mm 及 250 mm, 统计出不同降水等级 TC 的频数。由图 4a 可以看出, 过程降水量极值小于 50 mm 的 TC 频数在 11 至 27 个之间, 1990 年代最少而 1980 年代最多。过程降水量极值 (图 4b) 在 50 mm 至 99.9 mm 之间的 TC 年代频数 1960 年代最少为 12 个, 1950 年代最多为 19 个, 自 1980 年代以来年代频数保持在 15 个。过程降水量极值为 100 mm 至 249.9 mm 之间的 TC 年代频数最多, 平均比例在 35% 以上。其中 1970 年代最多, 为 55 个, 2000 年以来较少, 年代频数只有 35 个, 并且自 1970 年代以来有明显的下降趋势。过程雨量极值大于 250 mm 的 TC 年代频数在 45 个左右 (图 4d), 自 1960 年代至 1980 年代有下降趋势, 1980 年代、1990 年代频数最小, 为 41 个, 1990 年代之后明显上升, 近 10 年来达到最多 52 个。因此, 虽然达到大暴雨 (100 mm 以上) 的 TC 频数没有明显变化, 但是, 降水超过 250 mm 以上 TC 频数却有明显增加的趋势, 也就是说, TC 降水的极端性存在明显增加的趋势。

表 1 给出了长三角地区不同等级过程雨量的 TC 频数, 由表可以看出影响长三角的 TC 影响期间过程雨量极值小于 50 mm 的频数在 11 至 28 个之间, 1950 年代最少, 2000 年以来最多。过程雨量极值在 50 mm 至 99.9 mm 之间的 TC 年代频数最多为 1990 年代, 达到 15 个, 最少为 1960 年代, 为 6 个。并且呈明显的年代际变化, 表现为间隔 10 年的“多”、“少”演变。另外, 如果仅考虑小于 100 mm 降水的 TC 频数, 其年代变化非常小, 但略有增多的趋势。100 mm 至 249.9 mm 之间的 TC 年代频数较多, 1950 年代最多, 达到 20 个, 1990 年代最少, 有 14 个。过程雨量大于 250 mm 的 TC 较少, 长三角地区年代频数均不超过 10 个, 其中, 影响 TC 年代频数最多为 1960 年代及 2000 年代, 达到 9 个,

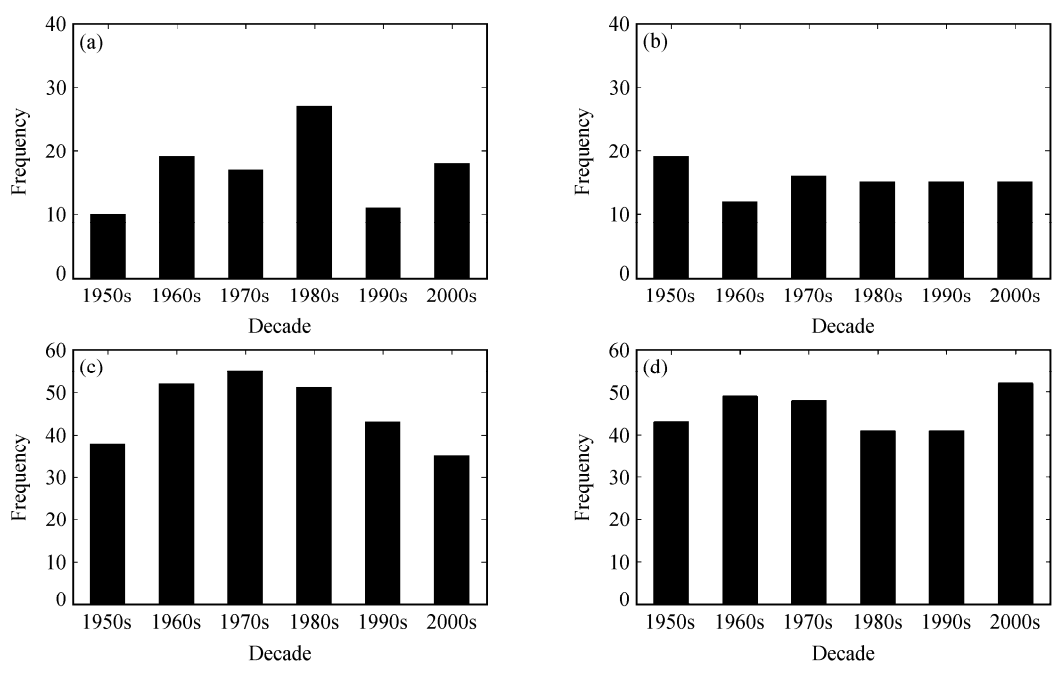


图 4 影响全国的过程降雨量极值达到不同等级 TC 年代频数: (a) 小于 50 mm; (b) 50~99.9 mm; (c) 100~249.9 mm; (d) 大于或等于 250 mm
Fig. 4 Decadal frequencies of affecting TC over China with maximum total precipitation at different levels: (a) <50 mm; (b) 50~99.9 mm; (c) 100~249.9 mm; (d) ≥250 mm

最少为 1970 年代仅有 5 个。因此,从大量级降水(超过 100 mm)的 TC 频数在本世纪前十年均有明显的增加(达到 26 个,比上世纪末十年 18 个,多出 8 个),但是并没有超过 1950 年代和 1980 年代,仍然呈现周期性现象看,影响长三角 TC 过程降水量极值并不呈现明显的增多或者减少趋势。

表 1 长三角地区不同等级过程降雨量影响 TC 年代频数
Table 1 Decadal frequencies of affecting TC over Yangtze River Delta with maximum total precipitation for different levels (unit: mm) and its frequency

	TC 年代频数					
	1950s	1960s	1970s	1980s	1990s	2000s
小于 50	11	23	21	25	19	28
50~99.9	11	6	12	9	15	8
100~249.9	20	17	16	19	14	17
250 及以上	9	6	5	8	4	9

表 2 给出了珠三角地区不同等级过程降雨量影响 TC 年代频数,由表可以看出,珠三角地区影响台风过程雨量极值小于 50 mm 的年代频数最大为 6 个,最少为 1 个。50~99.9 mm 区间的年代频数最大为 1970 年代 19 个,最小为 1980 年代 12 个。自 80 年代开始有上升趋势。过程雨量极值为 100 mm 至 299.9 mm 的年代频数最大为 1970 年代,达到 31 个,最小为 1980 年代,仅有 15 个。自 1950 年代

至 1970 年代不断上升,至 1980 年代突然减少至 15 个,而之后年代频数又开始上升。过程雨量极值超过 250 mm 的影响 TC 年代频数最大为 12 个,分别为 1960 年代及 1990 年代,1970 年代及 2000 年代最少为 9 个。整体来看,珠三角地区影响 TC 造成的极端性降水频数自上世纪 1980 年代开始有增加的趋势。

表 2 珠三角地区不同等级过程降雨量影响 TC 年代频数
Table 2 The same as Table 1, But for Pearl River Delta

	TC 年代频数					
	1950s	1960s	1970s	1980s	1990s	2000
小于 50	1	6	6	6	3	4
50~99.9	14	14	19	12	13	15
100~249.9	21	30	31	15	24	27
250 及以上	10	12	9	10	12	9

4.3 日雨强年极值演变

图 5 为影响 TC 日雨强极值年变化图。其中影响全国(图 5a) TC 日雨强年极值平均为 353 mm,最大极值为 634 mm,为西沙岛测站记录的 11 号台风“Nina”,其次为 1954 年海南省屯昌站记录的台风“Nancy”,日降雨量极值达到 611 mm。最小极值为 2000 年,仅有 189 mm,1985 年影响 TC 平均日降雨量年极值也较小,只有 196 mm(图 5a)。从

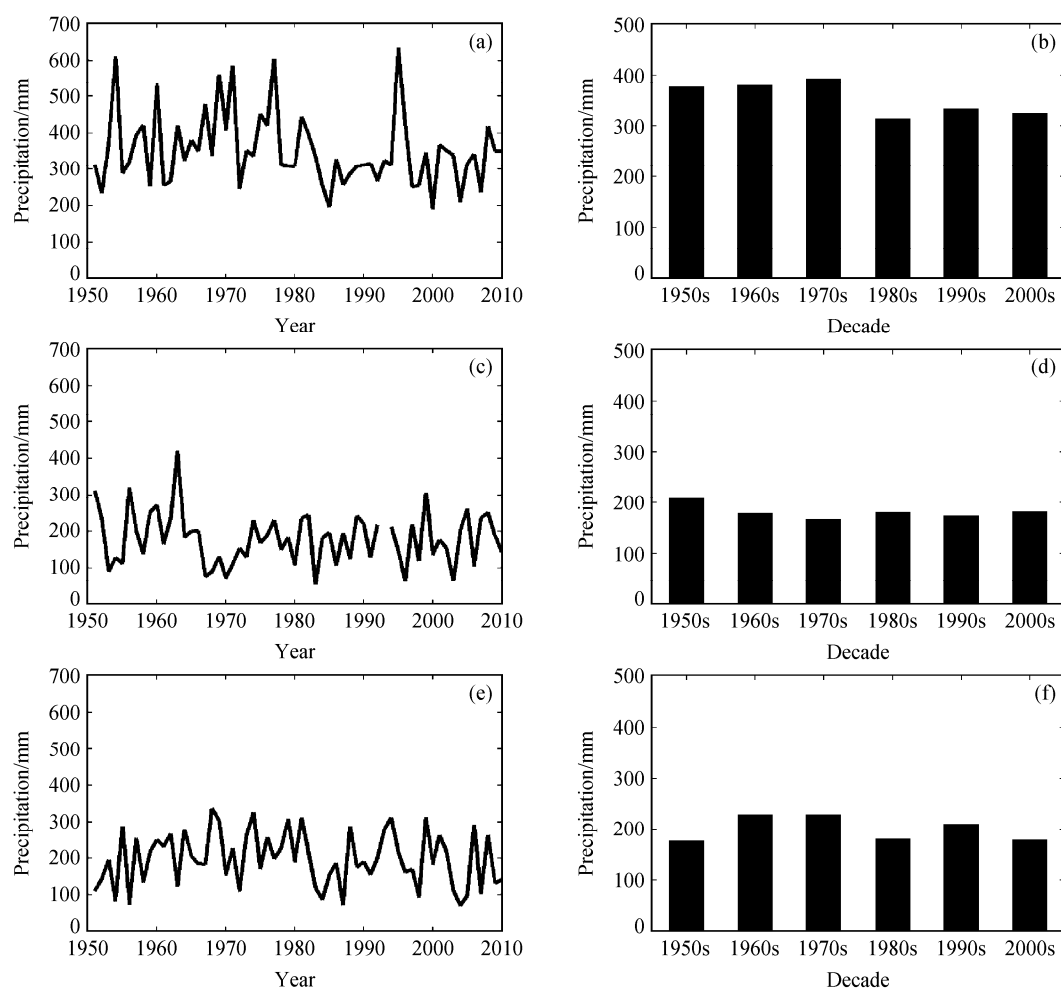


图 5 同图 1, 但为日降雨量极值

Fig. 5 Same as Fig. 1, but for the maximum of daily precipitation

年代平均来看 (图 5b), 整体上没有明显的变化趋势, 最大为 1970 年代, 日降雨量年极值达 392 mm, 1980 年代迅速下降至 312 mm, 同时 1980 年代之后日降水极值年代际平均明显小于 1980 年代之前。

对于长三角 (图 5c), TC 影响期间日降水量极值平均为 177 mm, 最大为 1963 年 420 mm, 为南汇站记录的 12 号台风 “Gloria”, 其次为 1999 年洪家站记录 307 mm, 为 14 号台风 “DAN”。1967 年、1970 年、1983 年、1996 年、2003 年影响台风日降水量平均极值不足 80 mm, 其中 1983 年最小, 仅有 53 mm。年代际变化较小, 1950 年代均值超过 200 mm, 达到 206 mm, 其他年代均值基本在 160 mm 至 190 mm 之间, 没有明显的增多或减少的变化趋势 (图 5d)。

珠三角地区 TC 影响日降雨量极值在 71 mm 至 338 mm 之间。其中最大值出现在 1968 年, 达到 338

mm, 为珠海站记录的 8 号台风 “Shirley”, 日降雨极值超过 300 mm 的年份还有: 1969、1974、1979、1981、1994 和 1999 年。最小年极值出现在 1987、2004 年, 为 71 mm, 其次为 1956 年仅有 73 mm (图 5e)。年代际变化上看, 1950 年代、1980 年代、2000 年代日雨强极值较小, 均在 200 mm 以下, 最小为 2000 年代, 年代平均仅有 169 mm, 而 1960 年代、1970 年代较大, 最大为 1970 年代达到 227 mm (图 5f)。

影响全国的 TC 日雨量年极值没有明显的年代际变化周期, 主要的年际变化周期约为 6~8 年 (图 6a)。影响长三角地区 TC 日雨量年极值 1950~1970 年代存在约 15 年的变化周期 (图 6b), 1980 年代以后存在 8~10 年的变化周期。此外, 1950~1970 年、1980 年之后还存在 2~4 年的变化。影响珠三角 TC 日雨量年极值 1950 年至 1975 年间存在 16 年

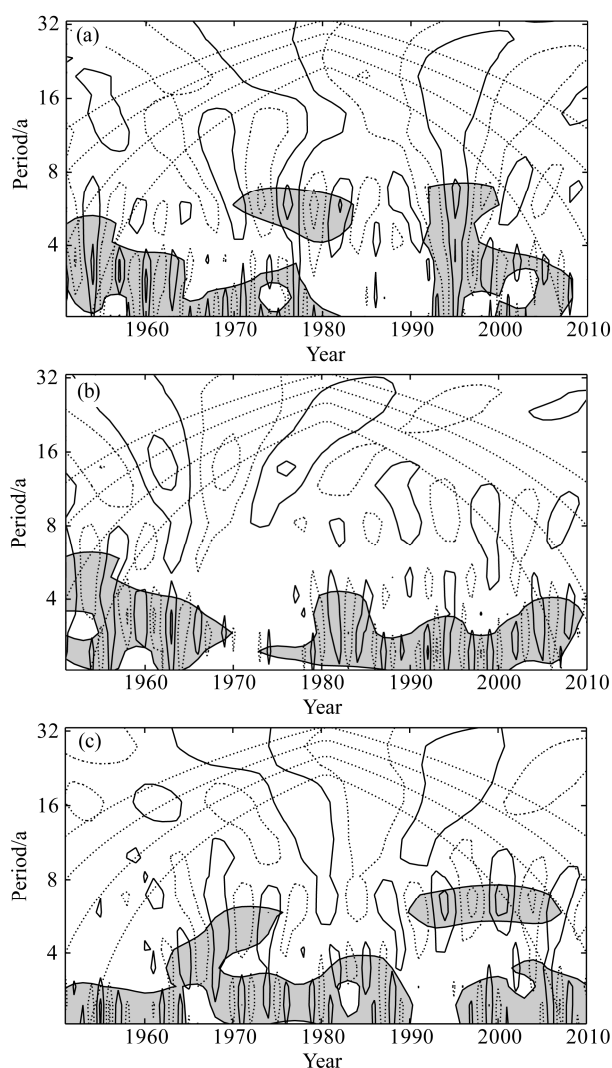


图6 同图3, 但为日雨量

Fig. 6 Same as Fig. 3, but for daily precipitation

左右的年代变化(图6c), 1975年之后没有明显的年代变化周期。自1965年后存在6~8年的年际变化。

图7给出了不同日雨强等级TC发生的频数分布, 由图可以看出, 全国范围内影响TC日降水极值小于50 mm、50~99.9 mm之间、100~249.9 mm以及超过250 mm的年代频数平均在21、20、60及20个左右, 日雨强在100~250 mm之间TC频数最多, 自1980年代后, 其发生频率没有发生变化。而日降水量超过250 mm的TC频数, 本世纪初有明显的增加。

对于长三角地区而言, 如图8所示, 长三角地区影响TC日降水量极值小于50 mm的TC年代频数平均为24个, 其中1960年代至1990年代略有下降趋势, 2000年以后迅速增长至29个。长三角

地区日雨强极值达50~99.9 mm的TC年代频数平均为13个, 1970年代最多达到16个, 自1970年代之后不断下降, 本世纪初共有9个发生。日降雨量为100~249.9 mm的TC年代频数长三角地区约为16个, 自1970年代后有明显的周期性变化, 而且变化幅度较大。日降雨量大于250 mm的TC频数较小, 长三角地区年代频数不超过5个, 主要发生在1950年代和最近20年内, 特别是近10年有增多的趋势。

图9显示了珠三角地区日降雨量不同等级TC频数的年代变化。珠三角日降水量极值小于50 mm的台风年代频数平均为12个, 比长三角地区明显偏少。同时, 不同于长三角地区, 珠三角地区日降水量在50~250 mm之间的TC频数明显偏多。其中日雨强极值达50~99.9 mm的TC年代频数平均约有18个, 最少为1980年代14个, 自1980年后有明显的上升趋势, 2001~2010年间最多有22个。日降雨量为100~249.9 mm的TC年代频数珠三角地区约为20个, 其变化仍以1970年代和1980年代为分界, 分别为两个上升阶段, 其中1970年代达到最大, 为25个, 1980年代减少为17个, 1980年代之后有所增加但变化不大。日降雨量大于250 mm的TC频数较少, 年代频数平均不超过5个, 但仍然多于长三角区域。因此, 近三十年来, 珠三角地区因TC造成的暴雨日数有增多的趋势, 但总体来说仍然少于1960至1970年代。而日降水量达特大暴雨的日数并没有明显增加。

4.4 小时雨强的演变趋势

图10显示了影响我国及关键经济区的TC1小时雨量极值年变化和年代际变化。其中影响全国的TC1小时降雨量年极值(图10a、b)最小为35 mm(1954年, 为广西北海站记录), 最大为143 mm(2005年“龙王”台风, 福建长乐站记录), 全国范围内, TC造成的小时雨量极值有略微增加的趋势。小时降雨量极值的年代际平均为1950年代最小, 平均为35 mm h⁻¹, 1960年代最大, 为80 mm h⁻¹, 变化幅度较大。影响长三角地区的TC小时降雨量极值最大为103 mm(图10c、d), 由溧阳站记录的1965年13号台风“Mary”, 最小为1983年15 mm(1993年长三角地区没有TC影响), 从年代际变化来看, 1950年代最小, 自1960年代开始, 小时降雨量极值略有下降。影响珠三角TC(图10e、f)的小时降雨量极值平均约为55 mm, 最大为1955

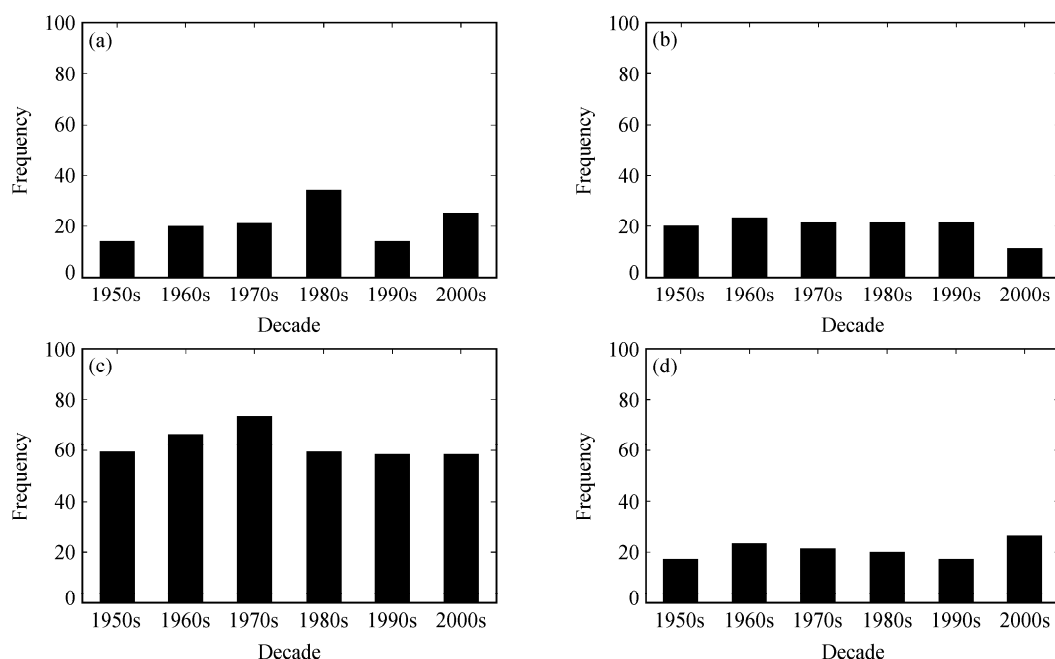


图7 同图4, 但为日降雨量

Fig. 7 Same as Fig. 4, but for daily precipitation

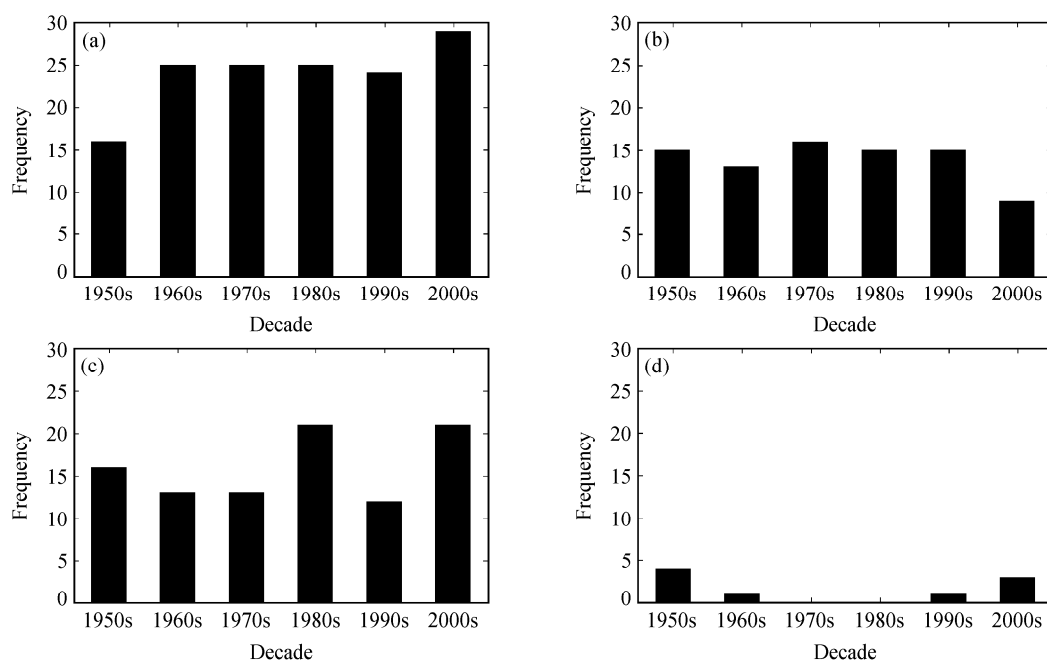


图8 同图4, 但为长三角日降雨量

Fig. 8 Same as Fig. 4, but for daily precipitation in Yangtze River Delta

年 99 mm, 为中山站记录的台风“Billie”。年代际均值自 1960 年代至 1980 年代不断下降, 1980 年代后略有上升。因此, TC 造成的小时雨强在全国范围内来看, 其年代际变化不明显, 但年变化差异比较显著。

图 11 为影响 TC 小时降雨量不同等级 (分大于 50 mm 和小于 50 mm) TC 频数的年代变化。其中全国范围小时降水量小于 50 mm 的影响 TC 年代频数平均为 72 个, 自 1960 年代至 1980 年代为上升趋势, 1980 年代频数达到最大为 87 个, 1980 年代

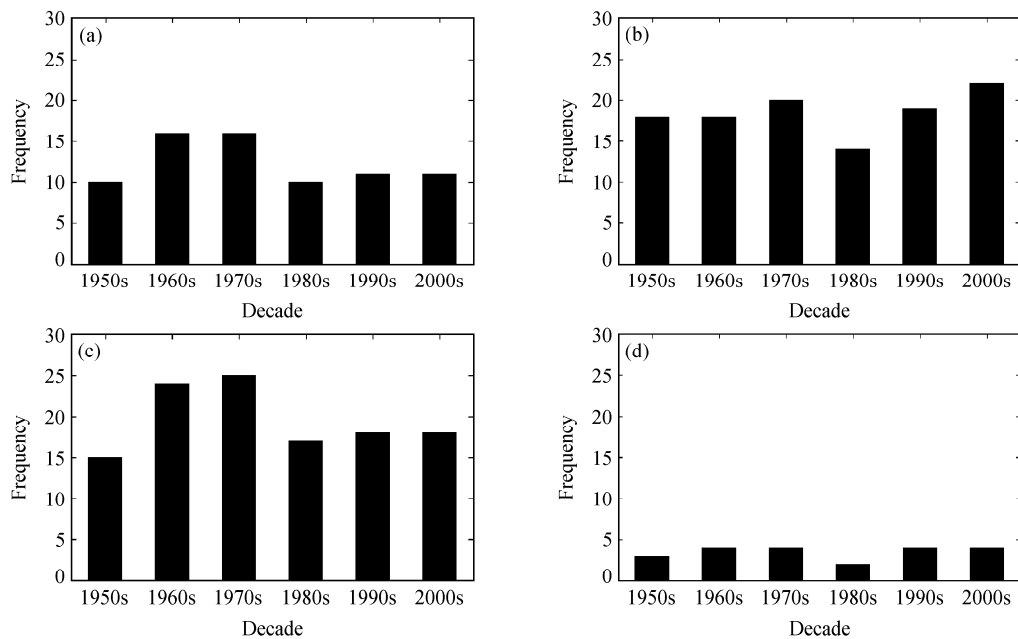


图9 同图4, 但为珠三角日降雨量

Fig. 9 Same as Fig. 4, but for daily precipitation in Pearl River Delta

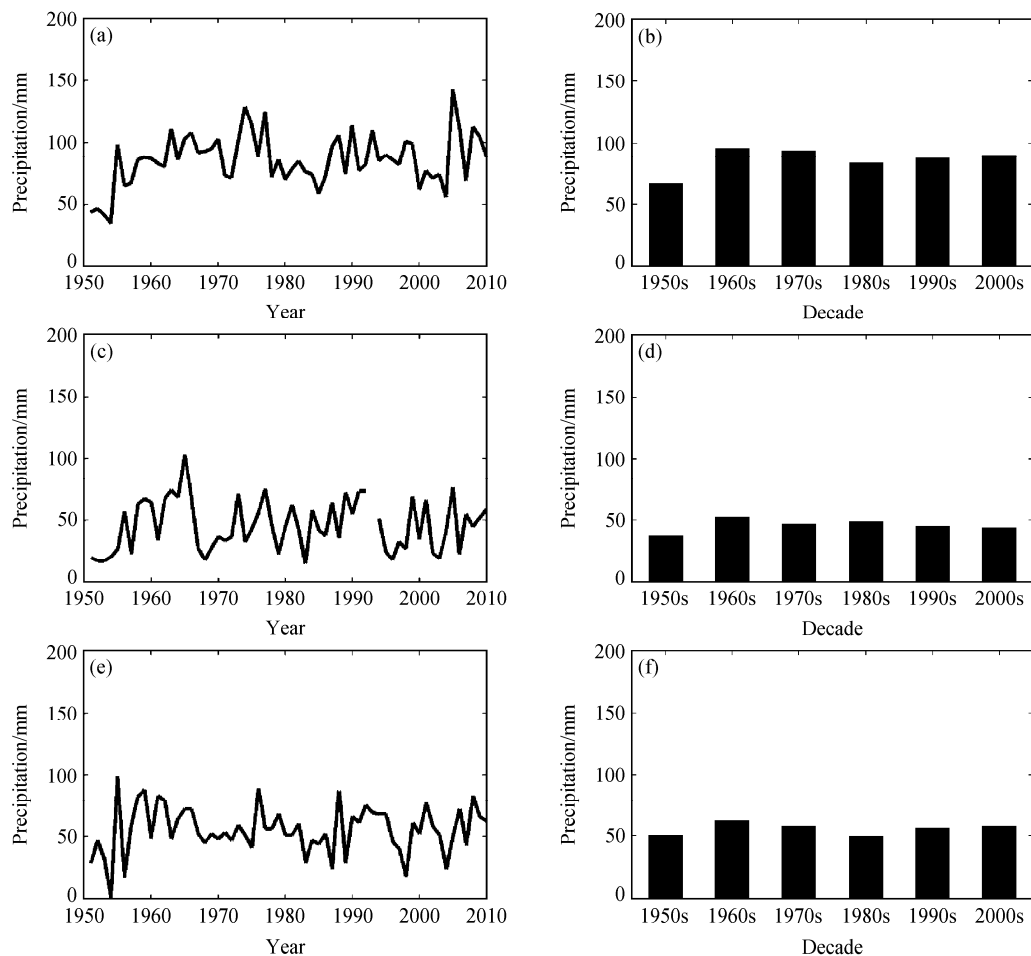


图10 影响TC小时降雨量极值变化: (a)影响全国; (b)影响全国年代平均; (c)影响长三角; (d)影响长三角年代平均; (e)影响珠三角; (f)影响珠三角年代平均

Fig. 10 The maximum hourly precipitation of affecting TC: (a) Over China; (b) decadal average in China; (c) over Yangtze River Delta; (d) decadal average in Yangtze River Delta; (e) over Pearl River Delta; (f) decadal average in Pearl River Delta

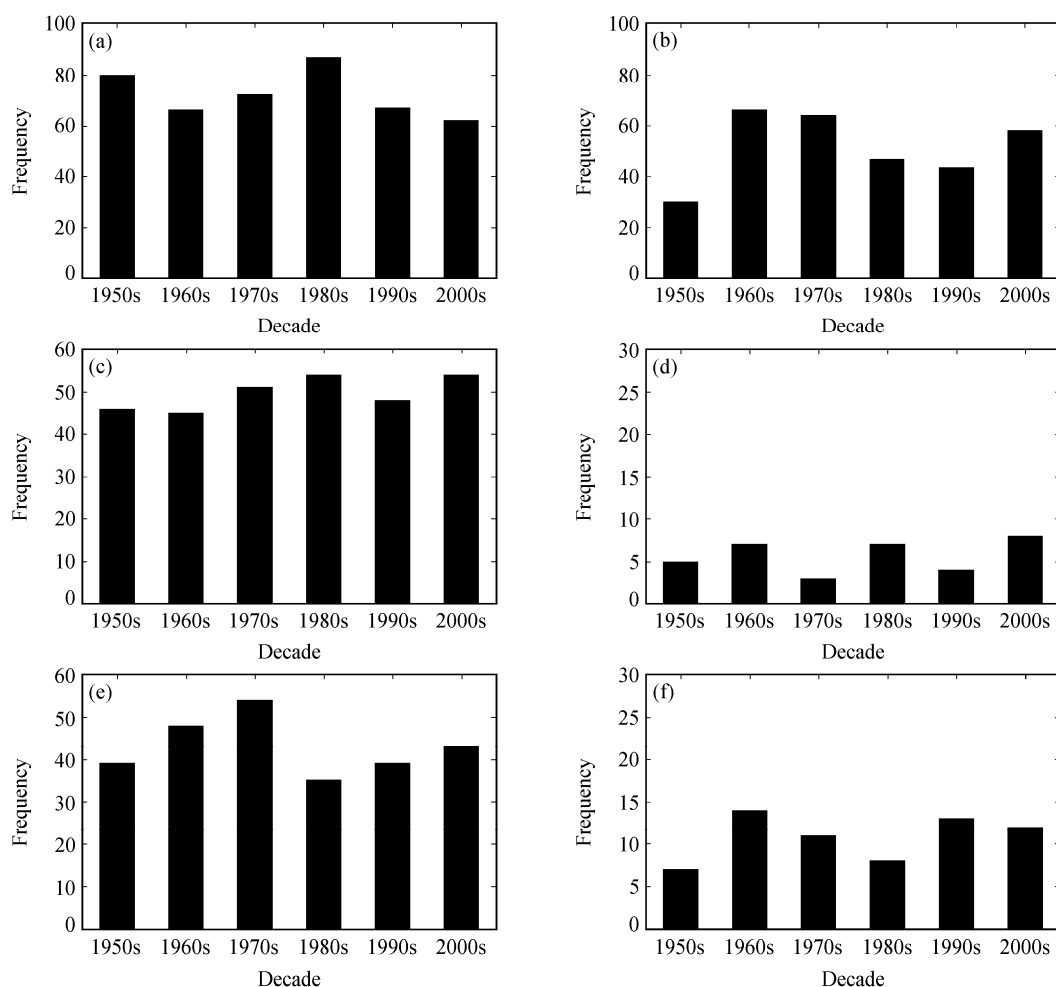


图 11 影响 TC 小时降雨量频数变化: (a) 影响全国 (小于 50 mm); (b) 影响全国 (大于或等于 50 mm); (c) 影响长三角 (小于 50 mm); (d) 影响长三角 (大于或等于 50 mm); (e) 影响珠三角 (小于 50 mm); (f) 影响珠三角 (大于或等于 50 mm)

Fig. 11 Frequencies of affecting TC with maximum hourly precipitation at different levels: (a) Over China (<50 mm); (b) over China (≥50 mm); (c) over Yangtze River Delta (<50 mm); (d) over Yangtze River Delta (≥50 mm); (e) over Pearl River Delta (<50 mm); (f) over Pearl River Delta (≥50 mm)

之后为下降趋势。小时降水量超过 50 mm 的 TC 年代频数平均为 51 个, 1960 年代频数最多, 达到 66 个, 1960 年代至 1990 年代为下降趋势, 1990 年代之后频数增长至 58 个。长三角地区小时降水量小于 50 mm 的影响 TC 年代频数最小为 46 个, 最多为 54 个。自 1960 年代至 1980 年代为上升趋势, 1990 年代突然减小至 48 个, 之后又快速增加。长三角地区影响 TC 小时降水量大于等于 50 mm 的年代频数较小, 平均仅有 6 个。其中 1970 年代仅有 3 个, 2001~2010 年间有 8 个。珠三角地区小时降水量小于 50 mm 的影响 TC 年代频数最少为 1980 年代 35 个, 最多为 1970 年代, 达到 54 个。自 1950 年代至 1970 年代为上升趋势, 1980 年代突然减少, 而后缓慢升高。小时降水量超过 50 mm 的年代频数较小, 最大为 1990 年代 13 个, 最小为 1950 年代 7

个, 且变化趋势不明显

5 总结和讨论

本文利用中国气象局上海台风研究所整编的《热带气旋年鉴》数据集, 研究了全国、长三角和珠三角关键经济区 TC 降水的气候变化趋势。分析了 TC 降水总量、TC 过程降水量、日降水量、小时降水量变化的气候变化趋势及其极端性。研究表明, 全国 TC 年总降水量年际变化幅度大, 最多与最少年份相差 6 倍, 特别是 TC 影响较大的华南、华东地区的夏秋季干旱与 TC 的影响关系极为密切, 上世纪 1980 年代以后 TC 降水总量变化幅度明显增大, 无论是对于影响全国以及我国关键经济区, 都存在明显的大幅度震荡, 台风降水对我国的旱涝将产生较大的影响。

长三角、珠三角地区受 TC 影响的过程雨量年极值自 1970 年代开始缓慢上升,表明近年来 TC 引起的降水在增加。全国范围内自 1970 年代开始过程平均雨量大于 250 mm 的 TC 频数也在增加,但长三角、珠三角地区发生极端性降水的 TC 频数并没有明显的增长。自 1950 年代至 1980 年代末,过程降雨量极值不断下降,自 1990 年代开始有上升趋势。珠三角地区最大过程降雨量略大于长三角。对于不同等级雨量发生的频数的进一步分析表明,过程雨量大于 100 mm 的 TC 频数,没有明显的变化,但是,过程平均降水超过 250 mm 降水的 TC 频数在明显增加,而 100~250 mm 降水的频数在减少,其降水多的台风频数有增多的趋势。另一方面,TC 降水的测站数在减少,而降水范围在缩小,因此,降水灾害风险在增加。

TC 日雨强极值变化趋势不明显,其年变化呈现震荡的周期变化,其中 1980 年代全国范围内 TC 日降水极值存在跃变。长三角、珠三角地区日极端降水的 TC 频数自 1980 年代开始有所增加。全国范围、长三角、珠三角区域内,TC 小时降雨量极值的年变化仍然呈现振荡的周期性变化,而在年代际尺度上并没有明显的变化趋势,只是在全国范围内自 1980 年代开始有非常缓慢增加趋势。周期分析表明,影响全国 TC 日雨量年极值没有明显的年代变化周期,主要的年际变化周期约为 6~8 年。影响长三角地区 TC 日雨量年极值 1950~1970 年代存在约 15 年的变化周期,1980 年代以后存在 8~10 年的变化周期。此外,1950~1970 年、1980 年之后还存在 2~4 年的变化。影响珠三角的 TC 日雨量年极值 1950 年至 1975 年间存在 16 年左右的年代变化,1975 年之后没有明显的年代变化周期。自 1965 年后存在 6~8 年的年际变化。

本文虽然对 TC 引起的降水极值进行了分析,得出了一些初步的结论。但是,由于降水是非连续变化的,局地性强,受地形影响大,降水资料的代表性存在一定的不确定性,因此,TC 降水极值的气候演变分析有一定的局限性。特别是近年来,由于雨量站的密度越来越大,测得的 TC 降水极值越来越大,TC 降水的气候分析应该做深入的研究。另外,影响 TC 降水的因子之一是大气环流,

一次 TC 过程降水的强弱还取决于其环流与其他天气系统的相互作用,环流的异常也会导致降水的变化,这种环流的异常变化的时间尺度从天气尺度到气候尺度都存在,甚至从几天的变化周期到 ENSO 变化周期,因此,台风降水的气候演变特征还需要从环流演变等机理上进一步认识,这是本文今后要开展的工作。

参考文献 (References)

- Emanuel K. 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years [J]. *Nature*, 436 (7051): 686–688.
- 贺海晏, 简茂球, 宋丽莉, 等. 2003. 近 50a 广东登陆热带气旋的若干气候特征 [J]. *气象科学*, 23 (4): 401–409. He Haiyan, Jian Maoqiu, Song Lili, et al. 2003. Some climatic features of the tropical cyclones landed onto Guangdong Province during the recent 50 years [J]. *Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 23 (4): 401–409.
- 乐群, 董谢琼, 马开玉. 2000. 西北太平洋台风活动和中国沿海的登陆台风暴雨及大风的气候特征 [J]. *南京大学学报 (自然科学版)*, 36 (6): 741–749. Le Qun, Dong Xieqiong, Ma Kaiyu. 2000. Climatic characteristics of northwestern Pacific typhoon activity and Chinese coastal landfall typhoon rain and gale [J]. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences Edition) (in Chinese)*, 36 (6): 741–749.
- 钮学新, 董加斌, 杜惠良. 2005. 华东地区台风降水及影响因素的气候分析 [J]. *应用气象学报*, 16 (3): 402–407. Niu Xuexin, Dong Jiabin, Du Huiliang. 2005. Climatic analysis on typhoon rainfall of East China and affecting factors of the precipitation [J]. *Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese)*, 16 (3): 402–407.
- 田辉, 马开玉, 林振山. 1999. 华南、华东沿海登陆台风暴雨和大风的分析 [J]. *应用气象学报*, 10 (增刊): 149–152. Tian Hui, Ma Kaiyu, Lin Zhenshan. 1999. Analysis of the heavy rain and strong wind of landing typhoon on the coasts of South and East China [J]. *Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese)*, 10 (S1): 149–152.
- 王咏梅, 任福民, 李维京, 等. 2008. 中国台风降水的气候特征 [J]. *热带气象学报*, 24 (3): 233–238. Wang Yongmei, Ren Fumin, Li Weijing, et al. 2008. Climatic characteristics of typhoon precipitation over China [J]. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*, 24 (3): 233–238.
- 韦青, 任福民, 张庆红, 等. 2010. 西北太平洋热带气旋降水特征分析 [J]. *热带气象学报*, 26 (3): 293–300. Wei Qing, Ren Fumin, Zhang Qinghong, et al. 2010. Climatological characteristics of tropical cyclone precipitation over western north Pacific [J]. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*, 26 (3): 293–300.
- 张庆红, 韦青, 陈联寿. 2010. 登陆中国大陆台风影响力研究 [J]. *中国科学: 地球科学*, 40 (7): 941–946. Zhang Qinghong, Wei Qing, Chen Lianshou. 2010. Impact of landfalling tropical cyclones in mainland China [J]. *Science China Earth Sciences*, 53 (10): 1559–1564.