

文章编号: 1004-4965 (2008) 03-0233-06

## 中国台风降水的气候特征

王咏梅<sup>1</sup>, 任福民<sup>2</sup>, 李维京<sup>2</sup>, 王小玲<sup>2</sup>

(1. 运城市气象局, 山西 运城 044000; 2. 国家气候中心, 北京 100081)

**摘 要:** 对中国台风降水的时空分布特征进行研究, 发现台风降水分布在中国中东部广大地区, 台风降水量自东南沿海向西北内陆逐渐减少。台风降水最大值出现在台湾岛的中东部地区和海南岛的个别地区, 年平均台风降水量大于 700 mm, 最小值出现在内蒙古、山西、陕西、四川的部分地区, 年平均台风降水量不足 10 mm。台风降水一般出现在 4~12 月, 峰值出现在 8 月。1957~2004 年期间台风降水呈下降趋势。台风降水的异常主要由于亚洲地区大气环流和赤道中东太平洋沃克环流的异常变化所引起。进一步分析发现, 台风降水在中国大部分地区为减少趋势, 且这种趋势在台湾岛、海南岛、东南沿海部分地区和东北南部较显著。台风暴雨是我国东南沿海及部分内陆地区的极端强降水事件之一, 这些地区的暴雨和大暴雨很大程度上是台风带来的。

**关 键 词:** 台风降水; 变化趋势; 台风暴雨

中图分类号: P444

文献标识码: A

### 1 引 言

中国是世界上少数几个受台风影响最严重的国家之一<sup>[1]</sup>, 历史上曾多次遭遇严重的台风暴雨、大风和风暴潮等灾害。台风对中国影响的最重要方面是台风所带来的降水。近两年中国的台风灾害明显表现出强度大和灾害重的特点, 2004 年, 登陆中国浙江的台风“云娜”带来了严重的灾害; 2005 年, 登陆中国台风数量多, 强度大; 2006 年, 强热带风暴“碧利斯”给中国造成的损失创近十年之最, 超强台风“桑美”成为有记录以来登陆中国大陆最强的台风。因此, 加强台风降水(指所有影响中国的热带气旋降水, 下同)的气候变化研究对防灾减灾具有重要意义。

自 1990 年代以来, 从气候角度研究台风降水受到越来越多的关注。刘子臣等<sup>[2-3]</sup>从个例分析出发, 研究表明我国东北暴雨和西北地区东部暴雨均与台风活动有关; 李永康等<sup>[4]</sup>对 1980~1990 年期间台风暴雨的研究表明, 台风暴雨年频率的分布具有明显的纬度地带性和地形性特征; 翁向宇等<sup>[5]</sup>揭示了登陆粤西热带气旋降水的特征。一些学者利用相关分析得出西北太平洋台风频数与中国夏

季降水存在较好的区域性相关<sup>[6]</sup>。

以往对台风降水的研究更多地侧重于个例分析和定性研究, 而很少定量地研究台风对中国范围降水的气候影响, 这可能主要与从总降水中分离台风降水技术的缺乏有关。Rodgers 等<sup>[7]</sup>利用卫星资料对北大西洋热带气旋降水的贡献做了定量的研究, 他们所使用的分离热带气旋降水客观方法为围绕热带气旋中心的一个半径为 444 km 的固定圆。

近几年在台风降水的分离技术方面有了新的进展, 任福民等提出一种识别热带气旋降水的方法, 即利用围绕热带气旋中心的一个变化圆来分离台风降水<sup>[8]</sup>。最近这一台风降水分离技术又有了新的改进, 试验结果表明该方法具有较好的分离台风降水的能力<sup>[9-10]</sup>。本文将在此基础上较全面地定量分析中国台风降水的基本气候特征。

### 2 资料和方法

本文使用的台风资料为中国气象局的台风路径和强度资料, 包含 1949~2004 年期间西北太平洋台风每 6 小时位置、最大持续风速和中心最低气压资料。所用 677 个台站日降水资料(1951~2004 年)包括国家气象信息中心提供的 659 个大陆台站资料和来自

收稿日期: 2006-12-21; 修订日期: 2007-06-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(40775046); 973 项目课题(2006CB403601); 上海台风研究基金课题共同资助

作者简介: 王咏梅, 女, 山西人, 高级工程师, 硕士, 从事短期气候预测工作。E-mail: wymzhx@163.com

台湾岛的 18 个台站资料,台站数目由 1951 年的 170 个到 1957 年猛增为 570 个,由于所用台站数目直接影响台风降水识别结果,在分析台风降水变化趋势、台风暴雨分布时选取 1957~2004 年,相对稳定的台站数不会对分析结果产生较大影响。年平均台风降水采用 1970~2000 年平均值。

台风降水分离是本研究非常关键的一步,方法详见文献[8]。对台风降水的识别分两步进行:从降水场的结构分析入手,将降水场划分成不同的雨带;

根据这些雨带与台风中心之间以及每个台站与台风中心之间的距离关系来确定台风降水。

本文计算台风体积降水<sup>[11]</sup>时采用反距离内差法将台风雨带的台站降水资料转化为  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  经纬距的网格化资料。由于每个格点可以代表相应的一个方框,因此可以得到任一格点所代表的面积 ( $A_{grid}$ ) 及其体积 ( $V_{grid}$ ) 降水分别为

$$A_{grid} = r^2 \cdot \cos \varphi \cdot \Delta \varphi \cdot \Delta \lambda = (\pi r / 360)^2 \cdot \cos \varphi$$

$$V_{grid} = A_{grid} \times P_{grid} \times 10^{-6}$$

其中  $r$  和  $\varphi$  分别为地球半径和格点的纬度、经度,  $A_{grid}$  的单位是  $km^2$ ,  $P_{grid}$  是格点上的降水,单位为  $mm$ , 而  $V_{grid}$  的单位  $km^3$ , 在台风雨带内对所有的格点面积  $A_{grid}$  和  $V_{grid}$  求和就得到台风影响面积和台风体积降水。即

$$A = \sum_{k=1}^l A_{grid,k}, \quad V = \sum_{k=1}^l V_{grid,k}$$

其中  $l$  为台风影响面积内的格点数。

本文在分析台风降水及台风暴雨日数的变化趋势时,使用了 Kendall-tau 检验方法,这是一种用于检验时间序列变化趋势的非参数检验方法。

统计量  $S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)(t_j - t_k)$ , 如果

$$\begin{cases} (x_j - x_k) \neq 0, n_1 = n_1 + 1 \\ (t_j - t_k) \neq 0, n_2 = n_2 + 1 \end{cases}, \text{ 则 } \tau = \begin{cases} s / \sqrt{n_1 n_2}, n_1 \neq 0, n_2 \neq 0 \\ 0, n_1 = 0 \text{ 或 } n_2 = 0 \end{cases} \text{。式}$$

中  $x$  为某气象要素(本文为各台站年台风降水量、台风暴雨日数),  $t$  为时间。给定显著性水平  $\alpha$ , 在本研究中取 0.05 (或 0.01), 若  $\tau < t_\alpha$ , 则认为趋势是显著的。

### 3 台风降水的气候特征

#### 3.1 台风降水的地理分布

图 1a 给出了年平均台风降水量的地理分布。台风影响范围包括中国的中东部广大地区,沿内蒙古中部、陕西西部、四川西部一线的以东地区全部为影响

区。从降水量分布来看,总体上降水自东南沿海向西北逐渐减小。台风降水最大区域出现在台湾岛的中东部地区及海南岛的个别地区,年台风降水在 700 mm 以上,台湾局部在 1 000 mm 以上;其次为东南沿海大部分地区及海南大部 and 台湾西部地区,年台风降水一般为 300~700 mm;广西、广东、福建及浙江省的大部分地区、江西省的部分地区年台风降水在 100~300 mm 之间;其余受台风影响的大部分地区年台风降水在 10~100 mm 之间;而内蒙古、山西、陕西、四川及河北的部分地区的年台风降水不足 10 mm。

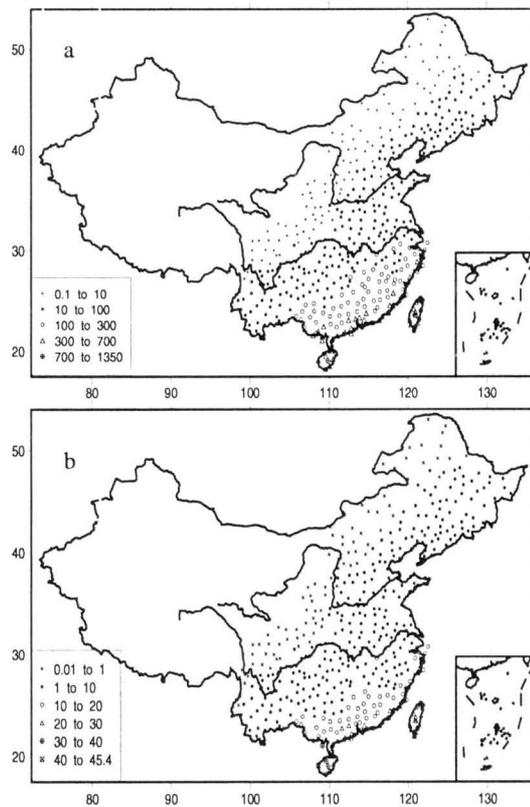


图 1 年平均台风降水量 (a, 单位: mm) 和其所占总降水的百分率 (b, 单位: %) 的分布  
纵坐标: °N; 横坐标: °E。

图 1b 为年平均台风降水占总降水的百分率分布。同台风降水分布类似,台风降水贡献率也是从东南沿海向西北内陆逐渐减小。台风降水贡献率最大的地区在台湾岛和海南岛的个别地区,达 40%以上;其次为海南大部、台湾局部和广西局部地区,贡献率在 30%~40%之间;广东、福建沿海以及台湾大部、浙江、海南局部地区贡献率在 20%~30%之间;广东、广西、福建大部以及浙江沿海地区、山东半岛局部地区贡献率在 10%~20%之间;其余台风影响地区一般都低于 10%,尤其是内蒙古、陕西大部、山西

和四川的部分地区在 1% 以下。比较图 1a 和 1b 可以发现,台风降水越大(小)的地区,台风降水贡献一般也越大(小)。

### 3.2 台风降水的季节变化

从台风降水多年平均的各月地理分布(图略)可见,台风降水在中国表现出非常强的季节变化。1 月份台风影响范围仅出现在广东沿海、海南及福建局部地区,降水量不足 1 mm。2、3 月台风没有给中国带来降水。台风影响中国从 4 月开始表现明显,但影响很弱,台风带来的最大雨量仅为 9.2 mm。之后台风降水以带状分布逐月向西北方向推进,影响面积扩大,量值也逐月增加,至 8 月达到顶峰。8 月是台风影响最为严重的月份,无论从台风影响的面积以及台风造成的降水量上都可以看出,台风影响范围包括中国的中东部广大地区,并且大部分地区台风降水量都比其它月份要大,台湾中南部部分地区降水量最大,在 200 mm 以上,个别地区甚至达 400 多 mm。随后,台风雨带逐月向东南方向撤退,影响面积和雨量逐月减少,至 12 月台风影响已很弱,影响范围只有长江以南大部地区、安徽中南部以及海南岛和台湾岛,雨量均不足 10 mm。

### 3.3 台风暴雨的分布

图 2 给出台风暴雨(台风影响下日降水量 50 mm 者,下同)的分布特征。图 2a 显示台风暴雨最大日降水量的地区包括台湾大部、海南大部、广东、广西大部、福建局部、浙江与长江下游部分地区、湖南、江西的局部、山东半岛的部分、河北的部分以及东北南部和东部的部分地区。台风暴雨降水量一般在 88~1135 mm 之间,最大值出现在台湾岛的局部地区,达 800~1135 mm;其次为台湾大部、海南部分、广东、广西局部为 400~800 mm;最小值为 88~100 mm,出现在黑龙江的局部地区。值得注意的是台湾岛的台风降水最大,而福建沿海的台风降水则比中国大陆其它沿海地区要小得多,这可能由于台湾山脉阻挡作用所致,一方面台湾山脉增强了台湾岛的降水,另一方面却使福建的台风降水大大减弱。

从台风暴雨日数占总暴雨日数的百分比分布(图 2b)可以明显看出,台湾岛、海南岛及东南沿海地区受台风影响的严重程度,这些地区的暴雨主要是由台风带来的,台风暴雨日数占总暴雨日数的 30% 以上。台湾岛和海南岛的一些地区的暴雨甚至有一半以上为台风所造成,而在广大内陆地区受台风的影响要减弱很多,台风暴雨日数仅占总暴雨

日数的 10% 以下。

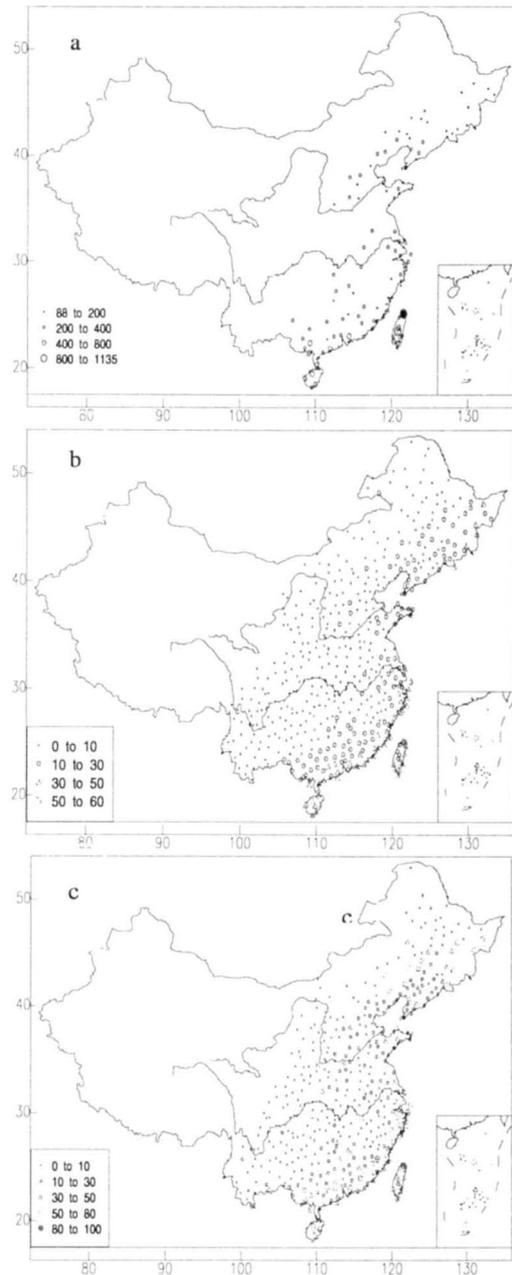


图 2 台风暴雨最大日降水量(a)和台风暴雨日数占总暴雨日数的百分比(b,单位:%)及台风大暴雨日数占总大暴雨日数的百分比(c,单位:%) 说明同图 1。

另外,台风大暴雨(台风影响下日降水量 100 mm 者,下同)日数占总大暴雨日数的百分比分布(图 2c)表明,对于大暴雨的形成,台风的作用更加明显,台风大暴雨日数占总大暴雨日数百分比为 30% 的地区不仅仅分布在东南沿海和两大岛,而且向北扩展,一些内陆地区的百分率也超过了 30%,这一点在东北地区表现得最明显。在东北的部分地区以及浙江沿

海大部、华南的部分地区、海南岛、台湾岛的部分地区大暴雨有一半以上为台风影响所造成，个别地区甚至接近 80%。值得注意的是在台风影响频次最高的广东、广西、福建沿海的台风大暴雨日数百分比反而较低，在 30%~50%之间。曾有统计（陈敏等<sup>[12]</sup>；林惠娟<sup>[13]</sup>）表明，登陆我国东部地区或转向经由东海的台风强度比影响华南地区的台风强度要强，这可能是造成华南地区的台风大暴雨日数比率较华东地区低的原因之一。

### 3.4 台风降水的气候变化特征

#### 3.4.1 影响中国台风降水的年总量变化及其成因

本文采用全国范围内年内累计的台风体积降水来表征影响中国台风降水的年总量，图 3 给出的是全国台风体积降水年总量与影响中国台风年频数的年际变化。在 1957~2004 年期间，台风体积降水和台风影响频数二者总的趋势是下降的，台风体积降水减少趋势为  $-3.0 \text{ km}^3/\text{yr}$ ，且通过 0.01 显著性水平检验，尤其是 1990 年代后期至今下降趋势更明显。台风降水表现出明显的年代际变化和年际间振荡。在 1960 年代前期、1970 年代前期以及 1985 年、1994 年，台风降

水明显偏多，尤其是 1985 年和 1994 年表现突出，为 1957 年以来台风降水最多的年份。而在 1960 年代后期、1970 年代后期~1980 年代前期以及 1990 年代后期以来，台风降水则明显偏少。相关性计算及  $t$  检验结果表明，台风体积降水年总量与影响中国台风年频数的相关系数为 0.55，且通过了 0.99 信度检验。这说明台风降水与影响台风数存在显著的正相关关系，台风降水偏多的年份一般影响台风数也多，反之亦然，表明影响中国台风频数的减少是台风降水减少的主要原因。

选取台风降水异常偏多年 1960、1973、1985、1994 年，台风降水异常偏少年 1983、1998、2003、2004 年，分别对其 7~9 月 500 hPa 环流形势合成（图 4），分析表明，当台风降水偏多时（图 4a），副高偏北、极涡偏向北美、乌拉尔山阻高减弱、我国中东部中纬地区为负距平控制，台风与中纬地区低压系统共同作用造成降水异常偏多。当台风降水偏少时（图 4b），副高偏南偏西、整个中国大陆为正距平控制，乌山阻塞高压和鄂霍茨克海高压异常偏强，此种环流形势使得降水异常偏少。

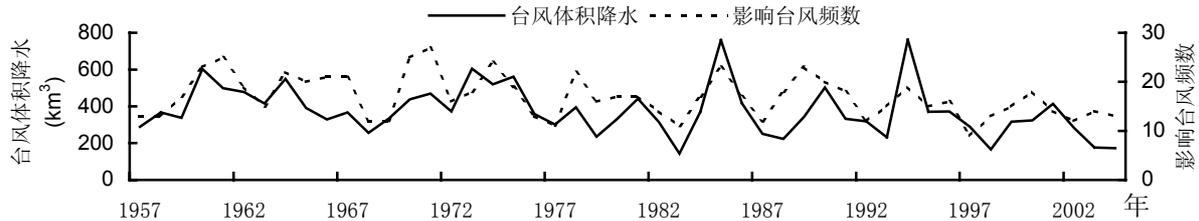


图 3 台风体积降水年总量与影响中国台风年频数的变化

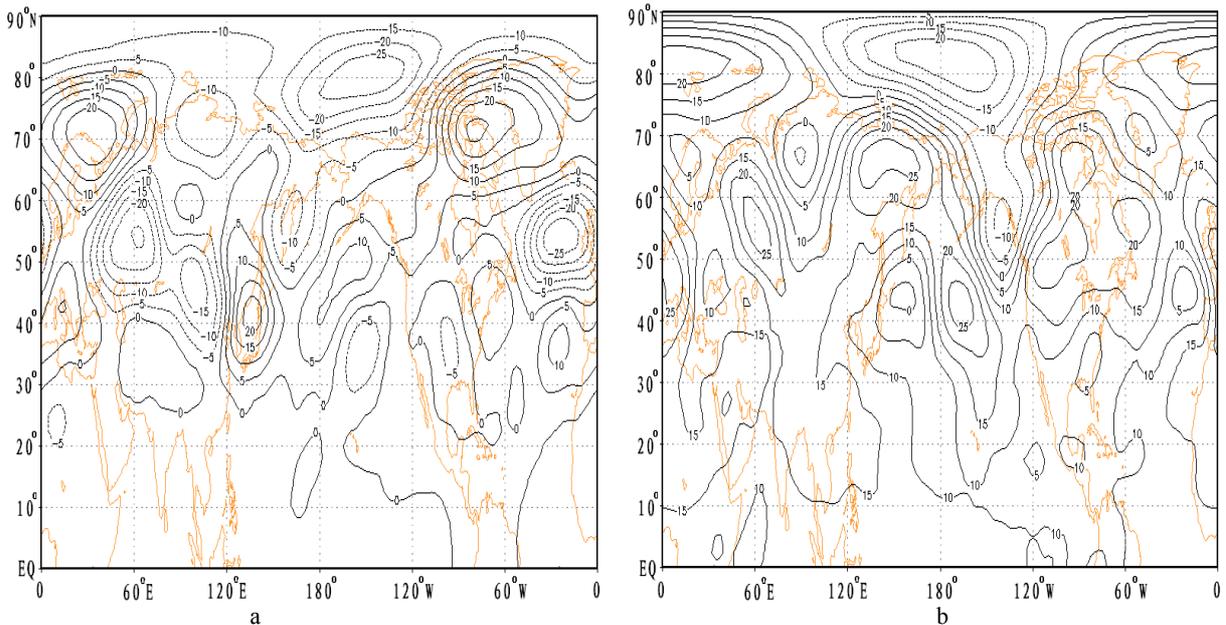


图 4 7~9 月台风降水偏多年 (a) 和台风降水偏少年 (b) 500 hPa 位势高度距平 (gpm) 合成

分析发现台风降水与 Niño3 区海温指数相关性较好, 相关系数为 -0.41, 即 Niño3 区海温偏低 (高) 时, 台风降水异常偏多 (少)。赤道中东太平洋海温异常对降水的影响是通过赤道太平洋上空纬向沃克环流来实现的。引起台风降水变化的可能原因是: 赤道中东太平洋地区 SST 偏低、西太平洋暖池附近 SST 偏高, 海气的相互作用使中东太平洋地区沃克环流及西北太平洋暖池附近对流活动加强, 进而改变了经圈平面上的哈得莱环流, 使西北太平洋副热带高压位置偏北, 亚洲极涡会有所收缩, 偏向北美。同时中纬度较强的低压环流系统与之配合, 形成有利于台风降水异常偏多的环流形势。相反, 海洋热状况与大气环流出现相反的分布型, 使得台风降水异常偏少。因此, 台风降水变化是由于亚洲地区大气环流和赤道中东太平洋沃克环流的综合效应所引起, 是与环流、海洋热状况异常紧密相联的。

### 3.4.2 台风降水变化趋势的地理分布

从 1957~2004 年台风降水量的线性变化趋势来看 (图 5), 我国大部分受台风影响地区的台风降水为减少趋势, 台湾岛、海南岛和广东沿海的个别地区台风降水减少在 5 mm/yr 以上。在四川、河南、山西等地台风降水却有增加趋势。进一步分析 (图略) 发现, 我国长江以北大部分地区以及四川、云南、贵州等地台风降水变化不足 0.5 mm/yr; 个别地区台风降水的增加主要是由于年际变化所引起。总之, 台风降水的变化在中国大部分地区为减少趋势, 但这种趋势只在台湾岛、海南岛、东南沿海的部分地区和东北部较显著。

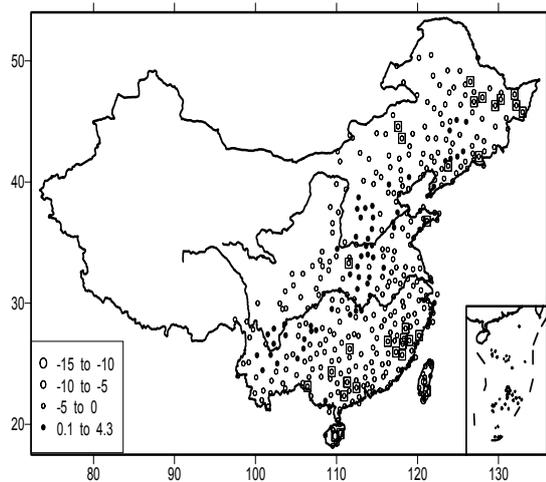


图 5 1957~2004 年年台风降水量变化趋势 (mm/yr) 的分布 方框代表通过 0.95 信度水平检验。说明同图 1。

### 3.4.3 台风暴雨日数变化

用年内各台站累积台风暴雨日数代表台风暴雨日数分析台风暴雨日数变化曲线 (图 6), 发现台风暴雨日数存在显著 (通过 0.95 信度水平检验) 的减少趋势。同图 3 所示的台风体积降水变化相似, 台风暴雨日数也存在年代际变化和年际间的振荡, 1960 年代前期、1970 年代前期台风暴雨日数较多, 1960 年代后期、1970 年代后期~1980 年代前期以及 1990 年代后期以来台风暴雨日数较少, 1994、1985 年台风暴雨日数明显偏多, 分别达 483、442, 1983 年台风暴雨日数最少, 为 72。进一步分析发现台风暴雨日数与年台风降水之间存在很好的相关性, 相关系数为 0.94。

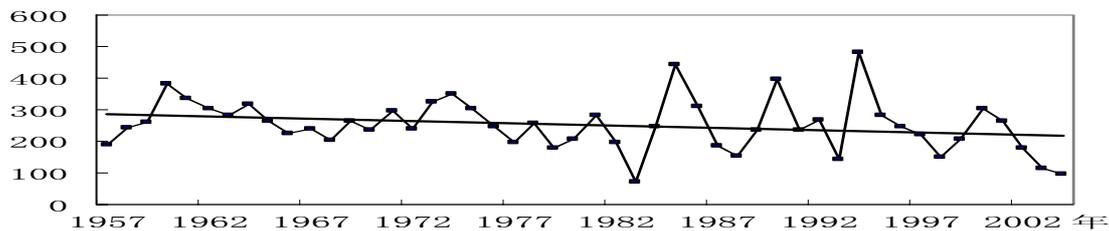


图 6 年内各台站累积台风暴雨日数

## 4 小 结

本文对中国台风降水的地理分布、季节变化、长期变化趋势以及台风暴雨的分布特征作了分析, 得到如下结论。

(1) 台风给中国中东部地区都带来降水, 台风降水分布在空间上存在很强的地域性差异, 降水量由两

大岛屿、东南沿海向内陆减少, 同时台风降水贡献的分布也有类似特征。

(2) 台风降水的季节变化表明, 台风降水一般出现在 4~12 月之间, 峰值出现在 8 月。

(3) 1957~2004 年期间, 台风降水呈下降趋势。台风降水与影响台风数存在显著的正相关关系。台风降水异常是由于亚洲地区大气环流和赤道中东太平洋沃克环流的综合效应所引起。

(4) 台风降水长期变化表现为全国性的减少, 显著的地区包括台湾岛、海南岛、东南沿海的部分地区和东北南部。

(5) 台风暴雨的分布表明: 在台湾、海南、我国沿海地区及部分内陆地区, 日最大降水以及暴雨、大

暴雨很大程度上由台风引起, 最大台风暴雨出现在台湾, 台风对于大暴雨的形成, 其作用更加明显。在台风影响频次最高的华南地区台风大暴雨日数比率较华东地区低。全国台风暴雨日数在过去近 50 年内表现出显著的减少趋势。

## 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: 1-3.
- [2] 刘子臣, 梁生俊, 张建宏. 登陆台风对黄土高原东部暴雨的影响[J]. 高原气象, 1997, 16(4): 402-409.
- [3] 李江南, 王安宇, 杨兆礼, 等. 台风暴雨的研究进展[J]. 热带气象学报, 2003, 19(增刊): 152-159.
- [4] 李永康, 高国栋. 我国热带气旋暴雨的气候学分析[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1995, 31(2): 310-319.
- [5] 翁向宇, 叶萌, 何夏江. 登陆粤西的热带气旋降水特征分析[J]. 热带气象学报, 2005, 21(3): 301-308.
- [6] 陈文玉, 金德山, 陈菊英. 热带气旋活动对中国夏季雨带类型与 ENSO 的响应关系[J]. 海洋预报, 1997, 14(1): 25-36.
- [7] RODGERS E B, ADLER R F, PIERCE H F. Contribution of Tropical Cyclones to the North Atlantic Climatological Rainfall as Observed from Satellites. Journal of Applied Meteorology[J]. Appl Meteorol, 2001, 40(11): 1785-1800.
- [8] 任福民, GLEASON B, EASTERLING D R. 一种识别热带气旋降水的数值方法[J]. 热带气象学报, 2001, 17(3): 308-313.
- [9] 王咏梅, 任福民, 王小玲, 等. 中国台风降水分离客观方法的改进研究[J]. 气象, 2006, 32(3): 6-10.
- [10] REN F M, WANG Y M, WANG X L, et al. Estimating Tropical Cyclone precipitation from station observations[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2007, 24(4): 700-711.
- [11] REN F M, GLEASON B, EASTERLING D R. Typhoon impacts on China's precipitation during 1957~1996[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2002, 19(5): 943-952.
- [12] 陈敏, 郑永光, 陶祖钰. 近 50 年(1949~1996) 西北太平洋热带气旋气候特征的再分析[J]. 热带气象学报, 1999, 15(1): 10-16.
- [13] 林惠娟, 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): 219-224.

## CLIMATIC CHARACTERISTICS OF TYPHOON PRECIPITATION OVER CHINA

WANG Yong-mei<sup>1</sup>, REN Fu-min<sup>2</sup>, LI Wei-jing<sup>2</sup>, WANG Xiao-ling<sup>2</sup>

(1. Yuncheng Weather Bureau, Yuncheng 044000, China;

2. National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The spatio-temporal characteristics of typhoon precipitation over China were analyzed in this paper. Results show that typhoon precipitation covers most of central-eastern China. Typhoon precipitation gradually decreases from the southeastern coastal regions to the northwestern mainland. The maximum annual typhoon precipitation exceeds 700mm in central-eastern Taiwan and locations of Hainan, while the minimum annual typhoon precipitation occur in parts of Inner Mongolia, Shaanxi, Shanxi and Sichuan, with values less than 10mm. Generally, typhoons produce precipitation over China during April-December, with maximum amount appearing in August. The annual typhoon precipitation time series for stations were examined for the long-term trends. Results show that decreasing trends exist in most of the stations and are statistically significant in parts of Taiwan, Hainan, the southeastern coastal regions and the southern Northeast. Typhoon torrential rain is one of the extreme rainfall events in the southeastern coastal regions and parts of central mainland. In these regions, torrential rains are mostly caused by typhoons.

**Key words:** typhoon precipitation; long-term trends; typhoon torrential rain