

# 近 50 年我国持续性暴雨的统计分析 及其大尺度环流背景

鲍名

中国科学院大气物理研究所季风系统研究中心, 北京 100080

**摘 要** 根据 1951~2005 年中国大陆 730 个台站的逐日降水资料和持续性暴雨发生的特点, 提出了采用局地持续性暴雨和区域持续性暴雨事件的两种客观定义来描述和统计近 50 年我国持续性暴雨时空特征及其变化。单站逐日降水量连续三天或三天以上均大于等于 50 mm 为一次局地持续性暴雨; 区域持续性暴雨指在一定区域范围内连续三天降水量总和大于等于 100 mm 且每天降水量大于等于 25 mm 的面积超过某一阈值(详细定义见正文)。根据局地持续性暴雨定义, 指出: 近 50 年中国局地持续性暴雨事件主要发生在江南和华南地区, 发生季节以 6 月为最多; 根据区域持续性暴雨定义, 统计分析了四类典型的区域持续性暴雨类型, 分别是: 渤海辽西型、北方经向型、南方锋面型和华南低压型。其中南方锋面型又可根据持续性暴雨易发生的地理位置分为江淮型、江南型和华南型三种。对这六类区域持续性暴雨的历史个例进行同比分析, 研究了不同类型持续性暴雨发生的季节性和年际变化, 以及它们在大尺度环流背景方面的共性特征。

**关键词** 持续性暴雨 客观定义 统计分析 大尺度环流背景

**文章编号** 1006-9895(2007)05-0779-14

**中图分类号** P426

**文献标识码** A

## The Statistical Analysis of the Persistent Heavy Rain in the Last 50 Years over China and Their Backgrounds on the Large Scale Circulation

BAO Ming

*Center for Monsoon System Research, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*

**Abstract** Based on the daily precipitation datasets at 730 stations in China from 1951 to 2005, two objective methods are adopted to depict the variations and characteristics of the persistent heavy rain in the last 50 years over China. One is the definition of the local persistent heavy rain, and the other is the definition of the regional persistent heavy rain. The local persistent heavy rain means that sequential heavy rain (the daily precipitation amount exceeds 50 mm) occur at a certain station at least 3 days. The regional persistent heavy rain denotes that the extent in which the total precipitation amount exceeds 100 mm during 3 days at certain region achieves the threshold, as such the extent in which the daily precipitation amount exceeds 25 mm in the same region achieves this threshold. According to the first definition, the results show that the local persistent heavy rain occurs in South China and to the southern parts of the Yangtze River mostly in the last 50 years, and the maximum instances of the local persistent heavy rain occur in June. According to the second definition, the results show that there are four kinds of regional persistent heavy rain primarily, namely the Bohai Sea-western Liaoning Province type, the northern meridional type, the southern front type, and tropical depression type in South China. Three types in the regions of the Yangtze River-Huaihe River, the southern parts of the Yangtze River and South China are included in the southern front type. All

types of regional heavy rain searched from the historical observational data are analyzed using the intercomparison method among these cases of the same type. The seasonal and interannual variations of the regional persistent heavy rain are compared and these backgrounds on the large scale circulation of the different types are also studied.

**Key words** persistent heavy rain, objective definition, statistical analysis, backgrounds on the large scale circulation

## 1 引言

暴雨是我国主要的天气灾害,我国夏季南方暴雨频发往往造成严重的洪涝,危及人民的生命财产安全,并造成严重的国民经济损失。我国暴雨具有突发性、频发性和持续性的特点,其中持续性暴雨最易造成大范围严重的洪涝。例如,1963年8月河北暴雨持续8天<sup>[1]</sup>,1991年夏江淮流域暴雨持续了两周<sup>[2]</sup>,1998年6月江南发生了持续10天以上的暴雨<sup>[3]</sup>,1999年6月长江中下游暴雨持续9天<sup>[4]</sup>,2005年6月华南持续暴雨一周<sup>[5]</sup>。最新监测表明,2006年初夏,华南-江南南部暴雨频繁、持续发生,已造成严重洪涝。特别是20世纪90年代以来,我国南方持续性暴雨事件显著。

关于我国暴雨的研究多为天气学个例研究。在暴雨的气候学研究方面,陶诗言和丁一汇<sup>[6]</sup>研究了我国20世纪50~70年代暴雨的气候分布,指出气候意义上暴雨主要发生在华北、江淮和华南三个纬向分布的带上。最近,翟盘茂等<sup>[7]</sup>研究了我国近40多年极端降水的趋势,鲍名和黄荣辉<sup>[8]</sup>研究了我国近40年暴雨的年代际变化特征。这些关于暴雨的气候学研究主要研究暴雨的频发性问题(暴雨发生频率的气候平均状况或年际年代际变化及趋势)。而关于我国暴雨持续性的研究,早在1962年陶诗言和徐淑英<sup>[9]</sup>就研究了夏季江淮流域持久性旱涝的环流特征,他们强调了持久性旱涝要求具有环流的稳定性。20世纪80年代,陶诗言等<sup>[1]</sup>提出经向型和纬向型这两类持续性暴雨模型,指出发生持续性特大暴雨需要一定的大尺度环流条件,这些有利于暴雨形成的条件维持,暴雨就会持续。在经向环流下,持续性特大暴雨环流型的基本特点是日本海高压和青藏高原稳定对峙,冷空气不断沿贝加尔湖高压前部流入两高压之间的高空槽或切变线中。在纬向环流下持续性暴雨的环流型基本特点是,从宽广的西伯利亚低槽中分裂东南下的冷空气与副热带高压西侧的暖湿气流不断交绥,形成持续性暴雨。之后,雷雨顺<sup>[10]</sup>考察了10次经向型持续性暴雨的合

成分析,提出暴雨区北方和东方各有一阻塞高压,二者同时出现所构成的稳定大形势是形成经向型特大暴雨的基本环流背景。还有一些研究分析了20世纪90年代几例典型的持续性暴雨的环流条件<sup>[11, 12]</sup>。

为了更好地从共性上认识我国持续性暴雨发生的环流背景,并且客观地描述统计近50年我国持续性暴雨发生的时空特征,本文将根据我国持续性暴雨发生的特点,利用近50年全国台站逐日降水资料,采用客观定义方法来分析我国持续性暴雨的时空分布,对持续性暴雨的历史事件进行分类并研究它们的大尺度环流背景。

本文应用的暴雨资料是中国气象局提供的1951~2005年中国大陆730个台站逐日降水资料。该资料中的台站在我国东部分布密集,资料质量控制也得到过检验。需要说明的是,在1957年之前,我国建立的台站还比较稀疏,所以对这个时期的持续性暴雨的统计有一定影响。我们还用到ERA-40逐日再分析资料,时间跨度为1957年9月1日至2002年8月31日,分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。在此时段以外,我们应用了NCEP/NCAR逐日再分析资料,分辨率与ERA-40相同。

## 2 持续性暴雨的客观定义

陶诗言等<sup>[1]</sup>“定义连续三天或三天以上的暴雨过程,总量大于200毫米,也有定义五天或五天以上的暴雨过程为连续性暴雨。一次连续性暴雨过程可持续3~7天的时间”。为了统计分析持续性暴雨,首先需要给出持续性暴雨的客观定义。从单站降水观测看,单站连续三天或三天以上均有暴雨发生可认为是一次持续性暴雨,如果统计全国台站的多年历史资料,可以从宏观上认识我国持续性暴雨发生的时间空间分布,但是由于其局地性而无法认识持续性暴雨的大气环流背景;从天气过程来看,持续性暴雨是一种发生在一定区域的天气过程,也可叫做持续性暴雨事件,因此可以根据该事件发生的时空特点,分类讨论它们在大尺度环流背景上的

共性特征。

据此, 我们认为可以采用局地持续性暴雨和区域持续性暴雨两种客观定义来研究我国持续性暴雨。这两种客观定义互为补充。

### 2.1 局地持续性暴雨

单站逐日降水量连续三天或三天以上均大于等于 50 mm 为该局地一次持续性暴雨。补充定义单站连续五天除中间一日降水量小于 50 mm 其余四日均大于等于 50 mm 的也算该局地一次持续性暴雨。

### 2.2 区域持续性暴雨

在  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  经纬度网格下不超过 50 个网格的矩形区域内, 相同时间上至少有  $N$  个网格中有测站满足连续三日总降水量  $\geq 100$  mm, 且每日该区域内至少有  $N$  个网格中有测站日降水量  $\geq 25$  mm。考虑到我国不同区域暴雨影响范围的差异, 我们设阈值  $N$  在北方 ( $34^{\circ}\text{N}$  以北) 为 8, 华南 ( $26^{\circ}\text{N}$  以南) 为 12, 中间 ( $26^{\circ}\text{N} \sim 34^{\circ}\text{N}$  之间) 为 14。

这两种定义都容易利用计算机程序进行统计操作, 后面, 我们将把统计后的持续性暴雨进行分类分析来检查定义的客观性。

## 3 局地持续性暴雨的时空分布

### 3.1 季节分布

图 1 是 1951~2005 年我国局地持续性暴雨发生总次数的各月分布。从图 1 可以明显看出, 我国持续性暴雨多发生于夏季 6~8 月, 其中 6 月达到 221 站次居首。而 5 月我国局地持续性暴雨为 46 次, 与 6 月差别很大。秋季 (9~10 月) 我国局地持续性暴雨发生次数比春季 (4~5 月) 多; 冬季 12 月、1 月和 2 月几乎没有局地持续性暴雨发生。

### 3.2 地理分布

图 2 是我国 1951~2005 年单站持续性暴雨发生次数的全国分布。从图 2 可以看出, 全年我国持续性暴雨主要集中在江南和华南两个区域 (图 2a), 江南地区发生 3 次及以上局地持续性暴雨的地区在湖北东部、安徽中南部、江西中北部、福建北部、浙江西南部, 华南地区发生 3 次及以上的地区则在广东、广西大部 (最大中心在沿海) 和海南发生次数最多。在华南与江南之间有一个发生次数相对较少的带 ( $26^{\circ}\text{N}$  左右), 这与我国暴雨发生的气候分布是相同的<sup>[8]</sup>。发生过局地持续性暴雨的地区还有

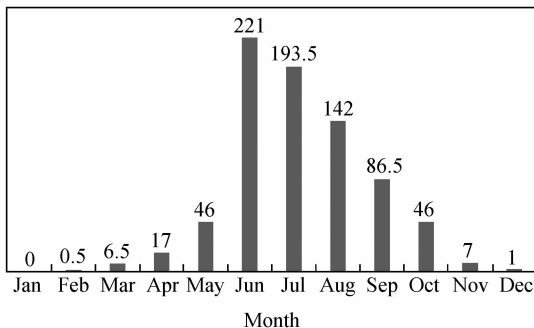


图 1 1951~2005 年我国局地持续性暴雨发生总次数的季节分布  
Fig. 1 Seasonal distribution of the frequency of the local persistent heavy rain from 1951 to 2005 in China

四川中东部、重庆、湖南北部以及淮河下游、河北和环渤海地区。

由于我国局地持续性暴雨主要发生在夏季 (图 1), 所以我们将检查夏季各月我国局地持续性暴雨发生次数的地理分布。从图 2b~d 可以看出, 江南地区局地持续性暴雨基本发生在 6 月, 此时华南持续性暴雨也多发, 而北方地区没有发生过局地持续性暴雨。7 月, 我国局地持续性暴雨发生在长江流域和华南地区, 其中长江流域的持续性暴雨发生次数比江南地区 6 月持续性暴雨发生次数少, 范围也比 6 月江南地区小; 7 月华南地区持续性暴雨发生次数以广西南部居多, 而广东南部主要是在 6 月份多。8 月, 我国局地持续性暴雨多发生在华南沿海地区, 此时北方有局地持续性暴雨发生。

我们统计了 1951~2005 年有记录发生局地持续性暴雨超过 10 次的测站。除了安徽黄山, 其他 12 个测站均在广东、广西和海南。其中, 广西东兴是我国局地持续性暴雨发生最多的台站, 达到 35 次。我们还统计了局地持续性暴雨的持续时间, 以 3~4 天为多, 近 50 年我国局地持续性暴雨最久的是 1994 年 7 月 14~21 日广西东兴站每日均发生暴雨 (日降水量  $\geq 50$  mm), 8 天总降水量 1156.6 mm。1975 年 8 月 13~20 日, 江西庐山站除 17 日降水为 13 mm, 其余每日均超过 50 mm, 8 天总降水 1031.2 mm。

## 4 区域持续性暴雨事件的类型及其大尺度环流特征

利用区域持续性暴雨的客观定义, 我们根据 1951~2005 年全国 730 站逐日降水资料统计了近

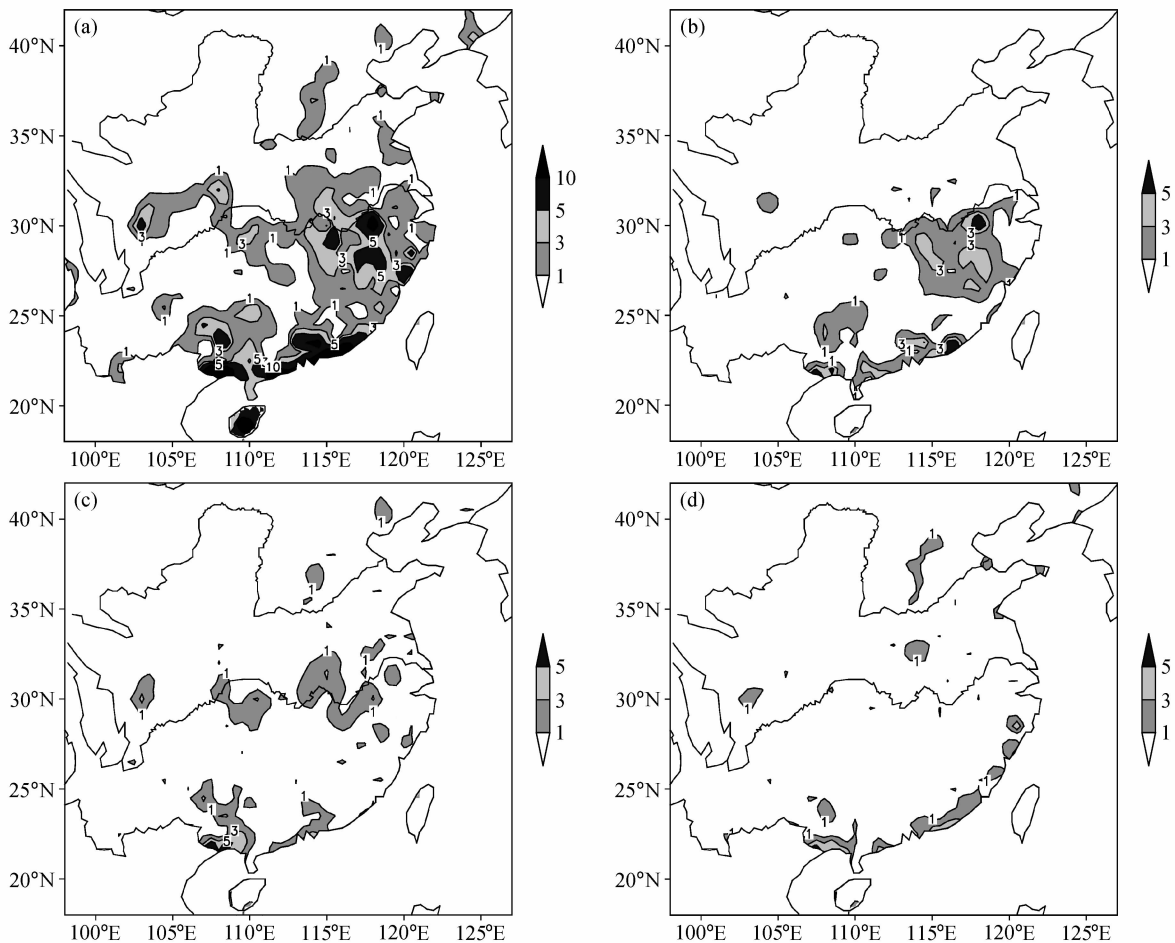


图 2 1951~2005 年我国局地持续性暴雨发生总次数的地理分布: (a) 全年; (b) 6 月; (c) 7 月; (d) 8 月。阴影为大于等于 1 次的分布, 等值线分别为 1, 3, 5, 10

Fig. 2 Spatial distributions of the total frequency of the local persistent heavy rain from 1951 to 2005 in China: (a) Year-round; (b) Jun; (c) Jul; (d) Aug. The areas with 1 degree local persistent heavy rain at least are shaded and the contour values are 1, 3, 5, 10, respectively

50 年我国区域持续性暴雨事件。从大量的区域持续性暴雨过程中, 我们归类了其中四种典型的区域持续性暴雨类型: 渤海辽西型、北方经向型、南方锋面型和华南低压型。实际上, 我国区域持续性暴雨还有其他的形势, 如发生在长江上游、四川盆地的持续性暴雨, 发生在黄河中下游纬向分布的持续性暴雨, 还有发生在华东沿海的经向持续性暴雨, 发生在东北地区的持续性暴雨等, 但在近 50 年的降水观测中这些持续性暴雨发生次数很少, 不足以通过一批暴雨过程相似的事例归纳其共性特征。因此, 本文仅仅分析下面四类有代表性的区域持续性暴雨。

#### 4.1 渤海辽西型

渤海辽西型持续性暴雨发生在辽宁中西部延伸

到环渤海区域, 呈西南-东北走向, 暴雨往往向东北方向移动, 因此不易持续。当有利于暴雨发生的大尺度环流稳定时, 暴雨在移动过程中能够持续 3 日。表 1 是近 50 年渤海辽西型持续性暴雨统计事件的记录, 从表中可以看到, 此类暴雨发生较少, 20 世纪 60 年代发生过 3 次, 70 年代、80 年代各发生过 2 次, 而 1992 年以后没有再发生。虽然这类持续性暴雨发生次数较少, 但暴雨强度较强面积较大。

图 3 是表 1 中两例渤海辽西型持续性暴雨事件的大气环流形势。由于每一类型持续性暴雨可有多多个事例, 限于版面, 我们对各类持续性暴雨仅给出两例的实况图, 但文中统计分析不局限于图中两例的情况 (以下各类同此)。图 3a、c 的阴影为发生时



段内的日均降水量，矢量场是 700 hPa 流场分布，3000 m 等值线表示该气压面上青藏高原地形范围；

表 1   近 50 年渤海辽西型持续性暴雨的统计事件

Table 1   Cases of the Bohai Sea-western Liaoning Province type of persistent heavy rain in the last 50 years

| 发生时间                    | 持续时间/d |
|-------------------------|--------|
| 1956 年 9 月 3~5 日        | 3      |
| 1962 年 7 月 24~26 日      | 3      |
| 1963 年 7 月 18~20 日      | 3      |
| 1964 年 7 月 27~29 日      | 3      |
| 1971 年 8 月 1~3 日        | 3      |
| 1975 年 7 月 29~31 日      | 3      |
| 1985 年 8 月 19~21 日      | 3      |
| 1986 年 7 月 30 日~8 月 1 日 | 3      |
| 1992 年 9 月 1~3 日        | 3      |

图 3b、d 中等值线为 500 hPa 位势高度场，阴影表示 250 hPa 高空西风急流。表 1 中 9 例持续性暴雨的共同特征有：700 hPa 流场上渤海辽西及其附近位置流线密集，从西南指向东北（如图 3a、c）；500 hPa 位势高度场上高压中心稳定在日本南部附近，日本高压的上游有槽存在（如图 3b、d）；日本高压的南侧常有热带低压活动（如图 3d），低压北侧的东风气流不仅有利于日本高压南侧的暖湿气流向渤海辽西输送，而且热带低压活动还有利于高压稳定在日本附近。冷空气来自高压上游槽后冷平流，青藏高原的增强有利于冷空气与暖湿气流在渤海辽西交绥（如图 3d）。从 250 hPa 的高空急流看，有 6 例持续性暴雨发生在高空急流入口区的南侧，即高层的辐散有利于低层大气辐合上升运动，这与天气

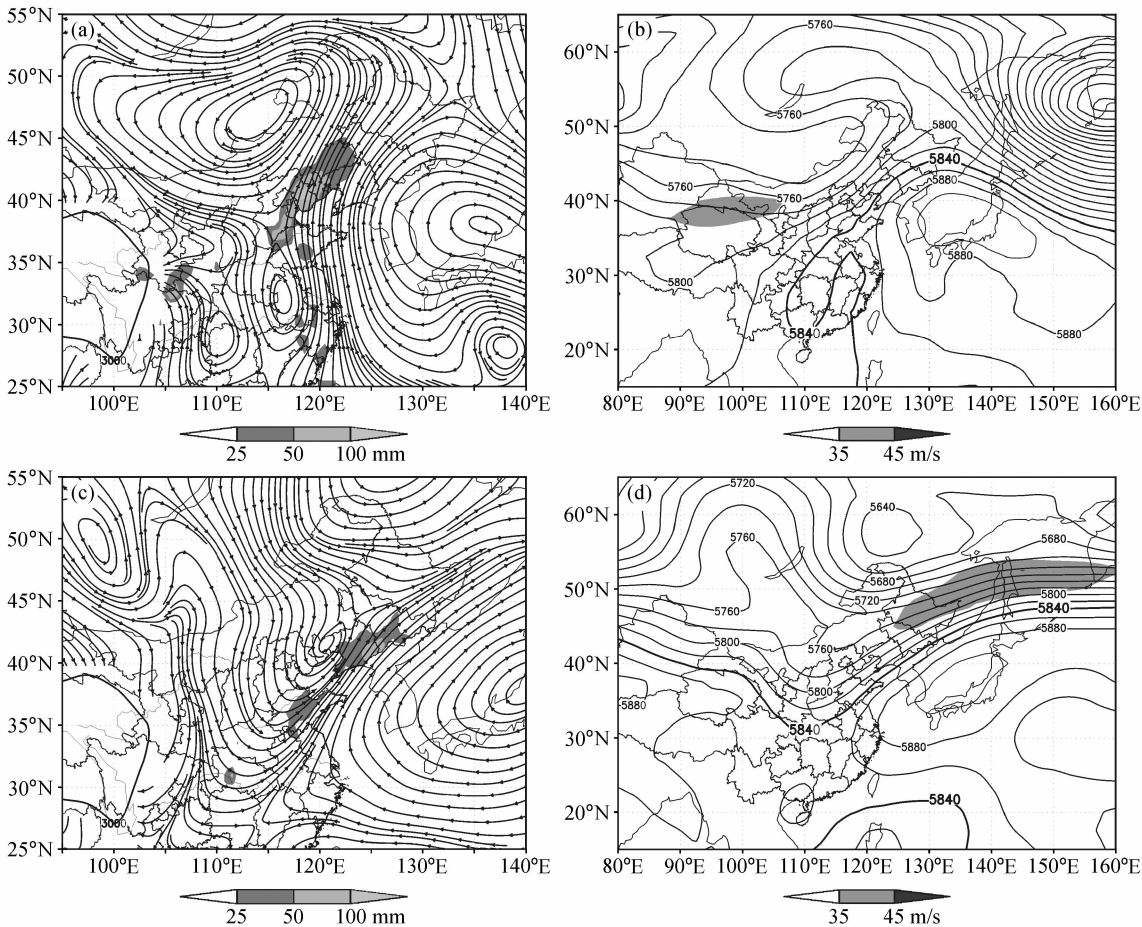


图 3   1962 年 7 月 24~26 日 (a、b) 和 1986 年 7 月 30 日~8 月 1 日 (c、d) 渤海辽西型持续性暴雨的环流形势：(a、c) 700 hPa 流场和  $\geq 25$  mm 的日均降水量 (阴影)；(b、d) 500 hPa 高度场 (等值线，单位：gpm) 和  $\geq 35$  m/s 的 250 hPa 纬向风 (阴影)

Fig. 3   The general circulation of the Bohai Sea-western Liaoning Province type of the persistent heavy rain for the cases during 24-26 Jul 1962 (a, b) and 30 Jul-1 Aug 1986 (c, d): (a, c) 700 hPa stream fields and daily mean precipitation more than 25 mm (shading); (b, d) 500 hPa geopotential height (contour, units: gpm) and 250 hPa zonal wind more than 35 m/s (shading)

学原理相符合。急流中心平均位于 ( $45^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$ ,  $130^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$ )。从后面其他类型持续性暴雨的分析我们将看到,这类暴雨与高空急流的关系与南方锋面型持续性暴雨相像,而明显不同于北方经向型持续性暴雨。

4.2 北方经向型

北方经向型持续性暴雨 7~8 月发生在我国华北及淮河以北地区,暴雨分布呈经向型,暴雨持续时间一般 3 日,特例达到 8 日。暴雨影响面积比南方小。表 2 是我国近 50 年中该类持续性暴雨的统计事件。可以看出,此类持续性暴雨发生次数少,特别是 1976 年以后仅有两次。而 1963 年 8 月河北发生的持续了 8 日的著名“63.8”特大暴雨则极为罕见。陶诗言等<sup>[1]</sup>曾讨论过我国历史上的几次特大暴雨,其中就包括“58.7”黄河中游暴雨、“63.8”河北省特大暴雨、“75.8”河南省特大暴雨这几例经向型持续性暴雨。可见,经向型持续性暴雨的强

度和灾害性是很大的。

图 4 是表 2 中两例北方经向型持续性暴雨事件的大气环流形势,说明同图 3。北方经向型暴雨的大尺度环流形势可分为两类形势:一类是高压中心稳定在日本海到朝鲜半岛,同时青藏高原高压较强,两高压脊之间形成经向的长低压带(如图 4b);另一类是在中国东部  $40^{\circ}\text{N}$  附近有高压坝,其南侧或西

表 2 同表 1, 但为北方经向型

Table 2 As in Table 1, but for the northern meridional type

| 发生时间               | 持续时间/d |
|--------------------|--------|
| 1958 年 7 月 12~14 日 | 3      |
| 1958 年 7 月 16~18 日 | 3      |
| 1963 年 8 月 2~9 日   | 8      |
| 1975 年 8 月 6~8 日   | 3      |
| 1976 年 7 月 18~20 日 | 3      |
| 1996 年 8 月 3~5 日   | 3      |
| 2000 年 7 月 4~6 日   | 3      |

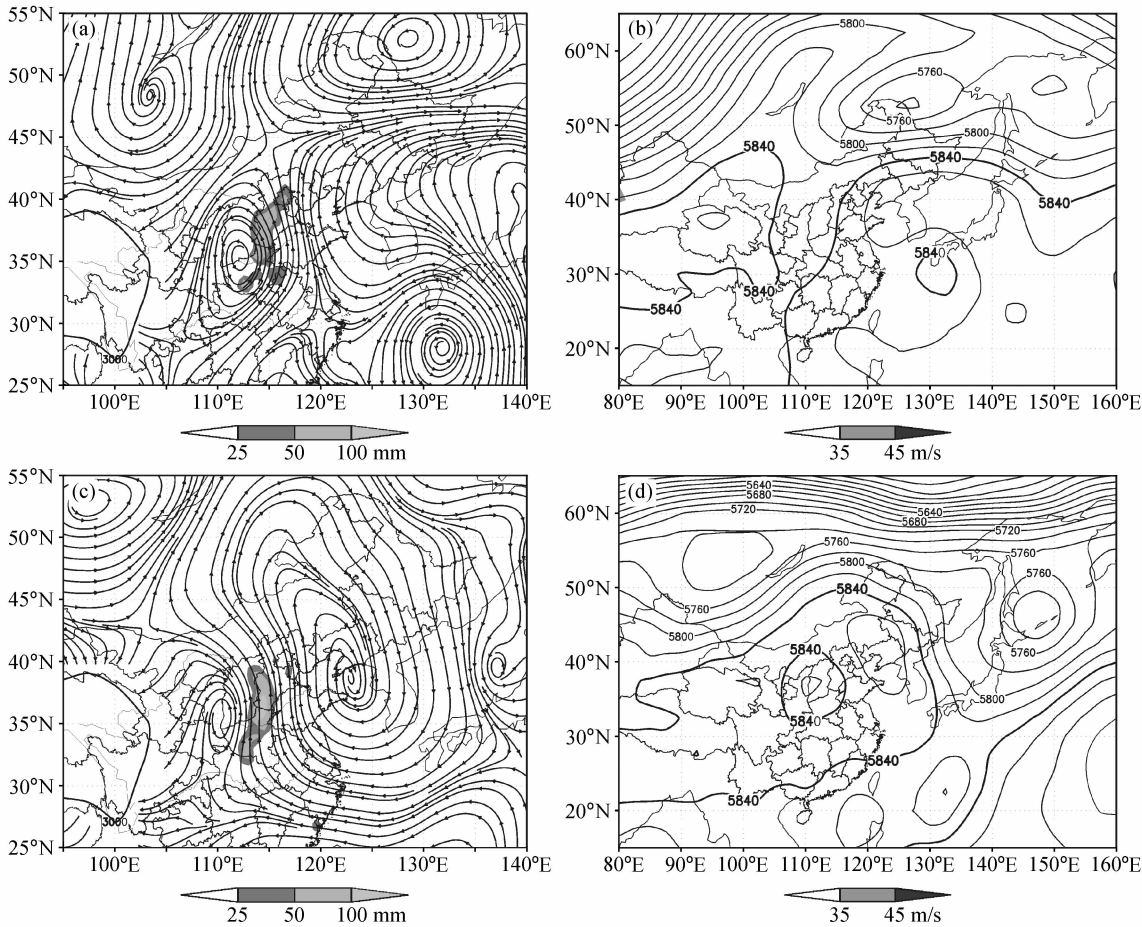


图 4 1963 年 8 月 2~9 日 (a、b) 与 2000 年 7 月 4~6 日 (c、d) 北方经向型持续性暴雨的环流形势。其余同图 3  
Fig. 4 As in Fig. 3, but for the northern meridional type during 2-9 Aug 1963 (a, b) and 4-6 Jul 2000 (c, d)

南侧有低压(如图 4d)。“63.8”特大持续性暴雨属于第一类型,从图 4b 可见,青藏高压北伸至贝加尔湖,形成了贝加尔湖阻塞高压,而此时日本南面缓慢移动的低压则有利于东面高压的稳定与暖湿气流的输送。这种大尺度环流条件在文献[1]中已有详细论述。陶诗言等<sup>[1]</sup>还指出,狭长的低压带处于四周稳定的高压系统包围之中,使得从我国西南南部移入暴雨区的高空低涡在进入暴雨区时出现停滞或减速现象,因而造成持久的暴雨。由于本文旨在分析持续性暴雨类型的共性特点而不是作个例分析,我们考察第一类型的流场共性特征是:暴雨区为来自南方的经向型气流,其西南侧均有低涡或低压带,因此这种副热带到中纬度的经向型环流形势是此类持续性暴雨的大尺度环流背景,这也是同渤海辽西型持续性暴雨大气环流形势的相近之处。在第二类经向型持续性暴雨中,大气环流表现为北面高压坝和南面低压活动的对峙,即西太平洋副热带高压西伸北抬至华北形成北方高压坝,此时与南方或西南方向的低压稳定对峙,造成暴雨的暖湿气流来自这两个系统共同的东南气流。北方经向型持续性暴雨中均没有西风急流相配合,这是由于中纬度大气环流是经向型环流主导。

4.3 南方锋面型

夏季,我国东部受季风气候影响降水充沛,异常的东亚季风会造成异常旱涝。每年 6~7 月,长江流域、江淮流域的梅雨天气持续时间长,在涝年这些地区常常暴雨频发,伴随梅雨锋而分布着一个纬向型的暴雨带。长江以南地区也是我国暴雨频发的区域<sup>[8]</sup>,例如,1954 年江南长时期暴雨多发,1998 年 6 月江南持续暴雨达 10 多天。华南地区每年 5~6 月为前汛期,这时暴雨伴随华南准静止锋而带状分布。本文统计了我国南方的持续性暴雨事件,绝大部分都属于这种锋面性质的持续性强降雨

水,根据暴雨发生的区域,可分为江淮型、江南型和华南型三类持续性暴雨。

4.3.1 江淮型

表 3 是根据定义统计的近 50 年江淮型持续性暴雨事件。这类持续性暴雨多于 6~7 月发生在江淮流域,暴雨可持续 3~5 天,但特例 1991 年江淮持续性暴雨长达 13 日之久<sup>[2]</sup>,这也是我国区域暴雨最持久的一例。江淮型持续性暴雨影响的范围包括江苏、安徽、河南南部、湖北、重庆、湖南北部、贵州北部及四川东部。

图 5 是表 3 中两例典型江淮型持续性暴雨过程的大气环流形势。江淮型持续暴雨环流背景的共同特点是 500 hPa 位势高度场上 115°E~120°E 附近 5840 线稳定在江淮地区(31°N~33°N),副高 5840 线的位置决定了持续性暴雨的落区,而它的稳定则有利于暴雨的维持。从 700 hPa 流场上看,暴雨多发生在西南暖湿气流与北方冷空气交汇处。由于青藏高原的地形作用,对流层低层高原东北面的西北气流易形成反气旋环流,而高原东南面的西南气流则易形成气旋性环流,它们与副热带高压和高压北侧的低压槽构成了稳定的鞍型场,暴雨多落在鞍心南侧副热带西南气流中(如图 5c)。从图 5d 中冷空气及低压槽的形势看,江淮型持续性暴雨的冷空气多来自中纬度较宽的低压槽。另外,我们也注意到个别持续性暴雨并无受到北方冷空气的影响。文献[2]指出:1991 年江淮持续性特大暴雨的大尺度环流异常特征是副高异常北跳和中高纬度出现持久的阻塞形势,鄂霍次克海的阻塞高压异常强大。我们没有逐例统计江淮型持续性暴雨的阻塞形势,因为严格的统计需要按照阻塞的客观定义来分析。粗略地从各例暴雨过程的大气环流形势看,其中 1980 年、1991 年和 2000 年的 3 例持续暴雨均有鄂霍次克海阻塞高压;从整体上看东亚阻塞高压是持续性

表 3 同表 1, 但为江淮型  
Table 3 As in Table 1, but for the Yangtze River-Huaihe River type

| 发生时间               | 持续时间/d | 发生时间                     | 持续时间/d | 发生时间                    | 持续时间/d |
|--------------------|--------|--------------------------|--------|-------------------------|--------|
| 1960 年 6 月 25~27 日 | 3      | 1980 年 7 月 17~20 日       | 4      | 2000 年 6 月 24~27 日      | 4      |
| 1962 年 7 月 4~8 日   | 5      | 1982 年 7 月 19~23 日       | 5      | 2002 年 7 月 22~24 日      | 3      |
| 1965 年 8 月 2~4 日   | 3      | 1983 年 6 月 29 日~7 月 1 日  | 3      | 2003 年 6 月 30 日~7 月 2 日 | 3      |
| 1968 年 7 月 13~16 日 | 4      | 1983 年 7 月 19~22 日       | 4      | 2003 年 7 月 8~10 日       | 3      |
| 1971 年 6 月 9~12 日  | 4      | 1983 年 10 月 4~6 日        | 3      | 2005 年 7 月 7~11 日       | 5      |
| 1980 年 6 月 23~25 日 | 3      | 1991 年 6 月 29 日~7 月 11 日 | 13     |                         |        |

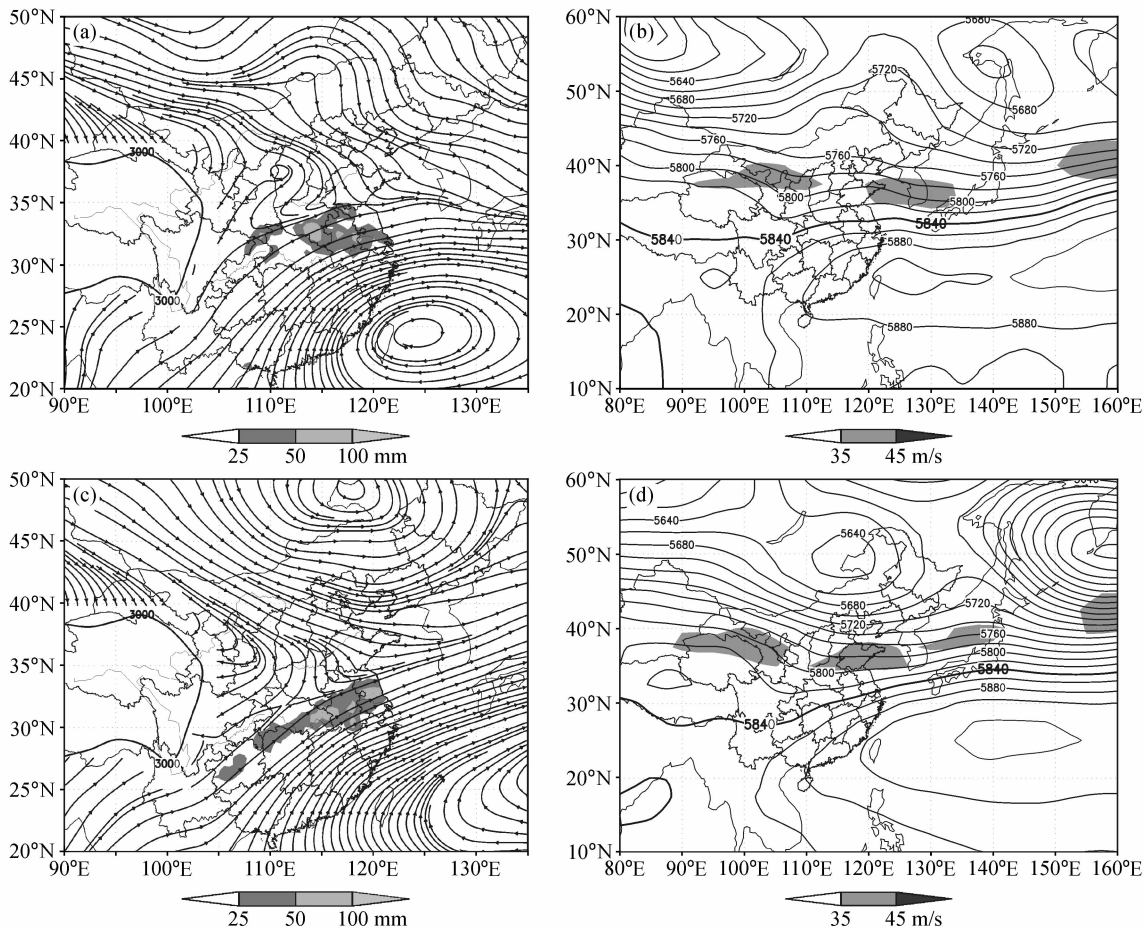


图5 1982年7月19~23日(a、b)与1991年6月29日~7月11日(c、d)江淮型持续性暴雨的环流形势。其余同图3

Fig. 5 As in Fig. 3, but for the Yangtze River-Huaihe River type during 19–23 Jul 1982 (a, b) and 29 Jun–11 Jul 1991 (c, d)

暴雨发生的有利条件但并不是必要条件,而副热带高压 5840 线稳定在江淮流域是最基本的共同特征。从高空急流看,其中有一半以上持续性暴雨发生在急流入口区的南侧(如图 5b、d),急流中心一般位于(35°N~40°N, 110°E~130°E)。

#### 4.3.2 江南型

表 4 是江南型持续性暴雨的统计事件,可以明显看出江南型持续性暴雨发生次数很多,在涝年有时候发生不止一次,江南型持续性暴雨多发生于 6~7 月,影响范围包括上海、江苏南部、安徽南部、湖北南部、湖南、贵州、江西、浙江及福建北部。暴雨持续时间一般在 3~5 天,其中较长的有:1989 年 6 天、1993 年 6 天、1998 年 10 天、1999 年 9 天。

图 6 是表 4 中两例典型江南型持续性暴雨事件的大气环流形势,说明同图 3。500 hPa 位势高度场 115°E~120°E 附近 5840 线大多位于江南地区,

这表明西太平洋副热带高压北缘 5840 线稳定在江南地区是该类持续性暴雨发生的必要基本条件。从中纬度大尺度环流来看可以分为两类:一类是与江淮型持续性暴雨相似的较宽的低压槽,弱冷空气不断地从宽槽内分裂南下(如图 6d);更多的一类是 40°N 附近的西高东低型(如图 6b),即中国西部为高压脊控制而东亚为低压槽。在这种环流条件下,东亚低压槽中的冷空气往往能够深入到江南地区,从而与西南暖湿气流在此交汇。从 700 hPa 流场可以看到,持续性暴雨均发生在副热带高压的暖湿气流里,其中一半以上暴雨事例具有明显的鞍型场特征,这与江淮型持续性暴雨中的鞍型场特征相同。高空急流上,有超过一半的持续性暴雨发生在急流入口区的南侧,但江南型持续性暴雨中急流中心平均要比江淮型偏东 10°,即位于 120°E~140°E,而纬度平均在 35°N 附近。

表 4   同表 1，但为江南型

Table 4   As in Table 1, but for the southern parts to the Yangtze River type

| 发生时间               | 持续时间/d | 发生时间                    | 持续时间/d | 发生时间                    | 持续时间/d |
|--------------------|--------|-------------------------|--------|-------------------------|--------|
| 1954 年 5 月 24~26 日 | 3      | 1969 年 7 月 15~17 日      | 3      | 1993 年 6 月 30 日~7 月 5 日 | 6      |
| 1954 年 6 月 14~18 日 | 5      | 1970 年 6 月 24~27 日      | 4      | 1995 年 6 月 22~26 日      | 5      |
| 1954 年 6 月 24~28 日 | 5      | 1970 年 7 月 10~14 日      | 5      | 1996 年 6 月 30 日~7 月 2 日 | 3      |
| 1954 年 7 月 11~13 日 | 3      | 1973 年 5 月 14~17 日      | 4      | 1996 年 7 月 14~17 日      | 4      |
| 1961 年 6 月 7~11 日  | 5      | 1973 年 6 月 21~25 日      | 5      | 1997 年 7 月 7~11 日       | 5      |
| 1962 年 5 月 25~28 日 | 4      | 1980 年 7 月 30 日~8 月 2 日 | 4      | 1998 年 6 月 17~26 日      | 10     |
| 1964 年 6 月 17~21 日 | 5      | 1981 年 6 月 26~28 日      | 3      | 1998 年 7 月 21~25 日      | 5      |
| 1964 年 6 月 24~28 日 | 5      | 1982 年 6 月 14~18 日      | 5      | 1999 年 6 月 23 日~7 月 1 日 | 9      |
| 1966 年 6 月 28~30 日 | 3      | 1982 年 6 月 19~21 日      | 3      | 2000 年 6 月 8~11 日       | 4      |
| 1966 年 7 月 8~10 日  | 3      | 1983 年 7 月 4~8 日        | 5      | 2002 年 6 月 14~16 日      | 3      |
| 1967 年 6 月 19~22 日 | 4      | 1989 年 6 月 28 日~7 月 3 日 | 6      | 2002 年 6 月 28 日~7 月 1 日 | 4      |
| 1968 年 6 月 22~24 日 | 3      | 1990 年 6 月 12~15 日      | 4      | 2003 年 6 月 24~27 日      | 4      |
| 1968 年 7 月 8~10 日  | 3      | 1992 年 7 月 3~6 日        | 4      |                         |        |
| 1969 年 6 月 24~26 日 | 3      | 1993 年 6 月 18~20 日      | 3      |                         |        |

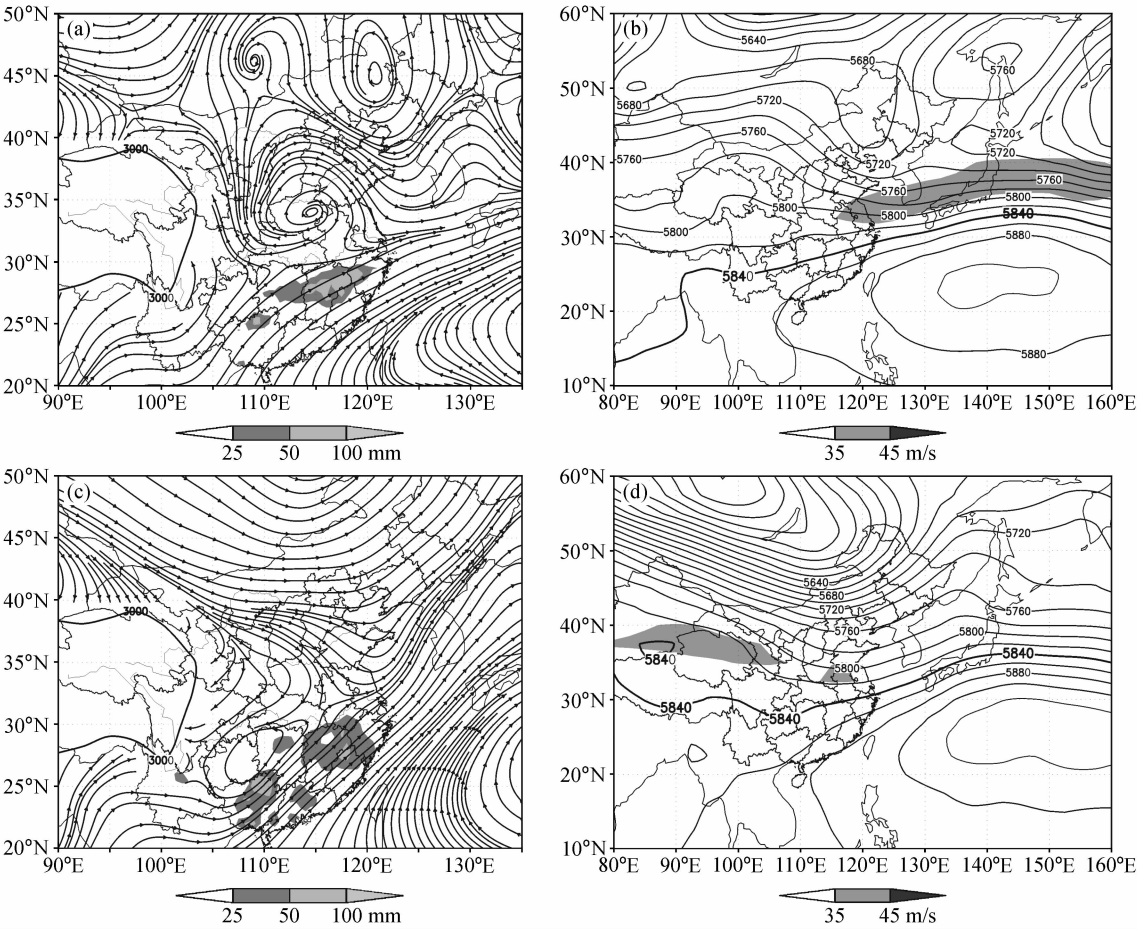


图 6   1989 年 6 月 28 日~7 月 3 日 (a、b) 与 1998 年 6 月 17~26 日 (c、d) 江南型持续性暴雨的环流形势。其余同图 3

Fig. 6   As in Fig. 3, but for the southern parts to the Yangtze River type during 28 Jun - 3 Jul 1989 (a, b) and 17 - 26 Jun 1998 (c, d)

4.3.3 华南型

华南型持续性暴雨主要发生在福建、广东、广西和江南南部。表 5 是华南型持续性暴雨的统计事件,从表中可知,这类持续性暴雨多发生于 5~6 月,其中 1973 年和 1994 年持续性暴雨前后各有两次,这表明除了与大尺度环流形势有关,持续性暴雨的发生还可能受气候背景的制约。最近 2005 年 6 月发生的华南持续性暴雨是一次持续时间长的事

件,造成了严重的洪涝。

图 7 是表 5 中 2 例典型华南型持续性暴雨事件的大气环流形势。500 hPa 位势高度场上 115°E~20°E 附近 5840 线稳定在华南到江南南部是这类持续性暴雨最明显的共同特征,这与江淮型和江南型持续性暴雨中副热带高压稳定在特定区域的条件是一致的。中纬度环流大多表现为 40°N 附近的西高东低型,而绝少出现江淮型持续性暴雨中的北方宽

表 5 同表 1, 但为华南型  
Table 5 As in Table 1, but for the South China type

| 发生时间                    | 持续时间/d | 发生时间               | 持续时间/d | 发生时间               | 持续时间/d |
|-------------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|
| 1959 年 6 月 11~15 日      | 5      | 1973 年 5 月 26~28 日 | 3      | 1989 年 5 月 20~24 日 | 5      |
| 1962 年 6 月 28 日~7 月 1 日 | 4      | 1973 年 6 月 1~4 日   | 4      | 1994 年 6 月 13~17 日 | 5      |
| 1964 年 6 月 12~16 日      | 5      | 1978 年 5 月 16~18 日 | 3      | 1994 年 6 月 18~20 日 | 3      |
| 1966 年 5 月 22~24 日      | 3      | 1983 年 6 月 16~19 日 | 4      | 1995 年 6 月 16~18 日 | 3      |
| 1968 年 6 月 12~19 日      | 8      | 1984 年 5 月 16~18 日 | 3      | 1999 年 5 月 24~26 日 | 3      |
| 1972 年 6 月 15~17 日      | 3      | 1987 年 7 月 28~31 日 | 4      | 2005 年 6 月 18~23 日 | 6      |

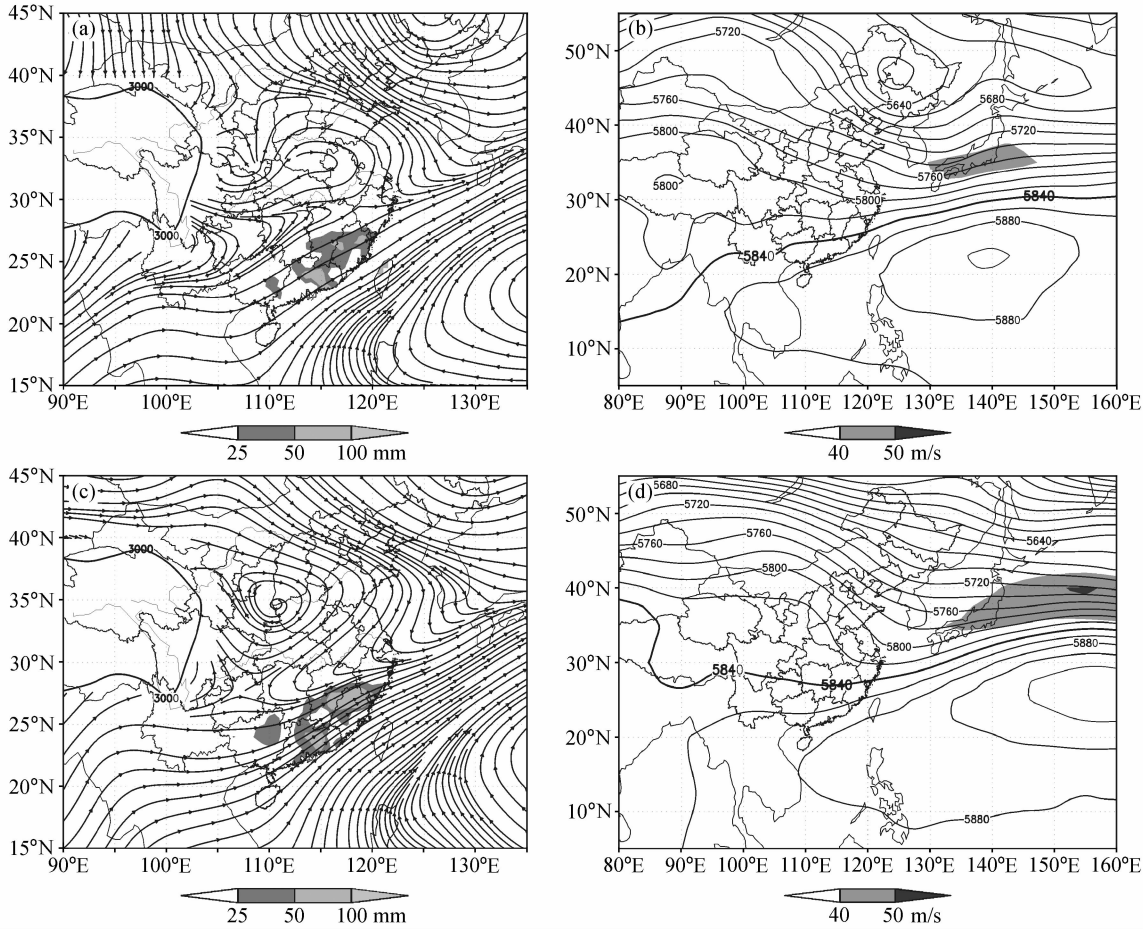


图 7 1968 年 6 月 12~19 日 (a, b) 与 2005 年 6 月 18~23 日 (c, d) 华南型持续性暴雨的环流形势。其余同图 3  
Fig. 7 As in Fig. 3, but for the South China type during 12-19 Jun 1968 (a, b) and 18-23 Jun 2005 (c, d)

槽型低压。由此可见，在南方锋面型的三类持续性暴雨中，出现江淮型暴雨需要的冷空气多来自于北方宽槽型低压，出现华南型暴雨需要的冷空气多来自于西高东低环流型的东亚深槽，出现江南型暴雨则两者都有且以东亚深槽为多。我们注意到，华南型持续性暴雨也有发生在并无冷空气活动的环流条件下，这种过程也许不应归类于南方锋面性质的暴雨。从 700 hPa 流场看，持续性暴雨均发生在冷暖空气交汇的暖湿气流中，而鞍型场的特征不如上两类暴雨中普遍，有的暴雨过程中鞍型场是由低压倒槽形成，而有的暴雨过程中并无鞍型场，这与其他持续性暴雨事件中的鞍型场有所不同。在高空急流上，华南型持续性暴雨发生时急流中心多位于日本南部附近 ( $130^{\circ}\text{E}\sim150^{\circ}\text{E}$ ,  $35^{\circ}\text{N}\sim40^{\circ}\text{N}$ )，而暴雨与急流的关系似乎没有江淮型和江南型持续性暴雨中的密切。

南方锋面型持续性暴雨是我国持续性暴雨发生

最频繁的一大类持续性暴雨，是造成我国南方流域性洪涝灾害的直接原因。图 8 是近 50 年南方锋面型持续性暴雨发生的逐年统计，从图中可以看到，3 类持续性暴雨的发生有明显的年际变化和季节发生特征。江淮型持续性暴雨多发生在 6 月 23 日~7 月 11 日以及 7 月 12 日以后，而很少发生在 6 月下旬之前；江南型持续性暴雨多发生在 6 月 21 日~7 月 8 日，其次是发生在 6 月 1~20 日和 7 月 9 日之后，很少发生在 5 月；华南型持续性暴雨多发生在 6 月 11~30 日以及 5 月 16 日~6 月 10 日，很少发生在 7 月。这些特征与我国夏季风降水、暴雨的季节内变化是一致的。从年际变化上看，我们统计了不发生任何一类持续性暴雨的年份有：1955~1958、1963、1974~1977、1979、1985、1986、1988、2001、2004；而特持久的或同一类出现至少两次的年份有：1954、1964、1966、1968~1970、1973、1980、1982、1983、1991、1993、1994、1998、

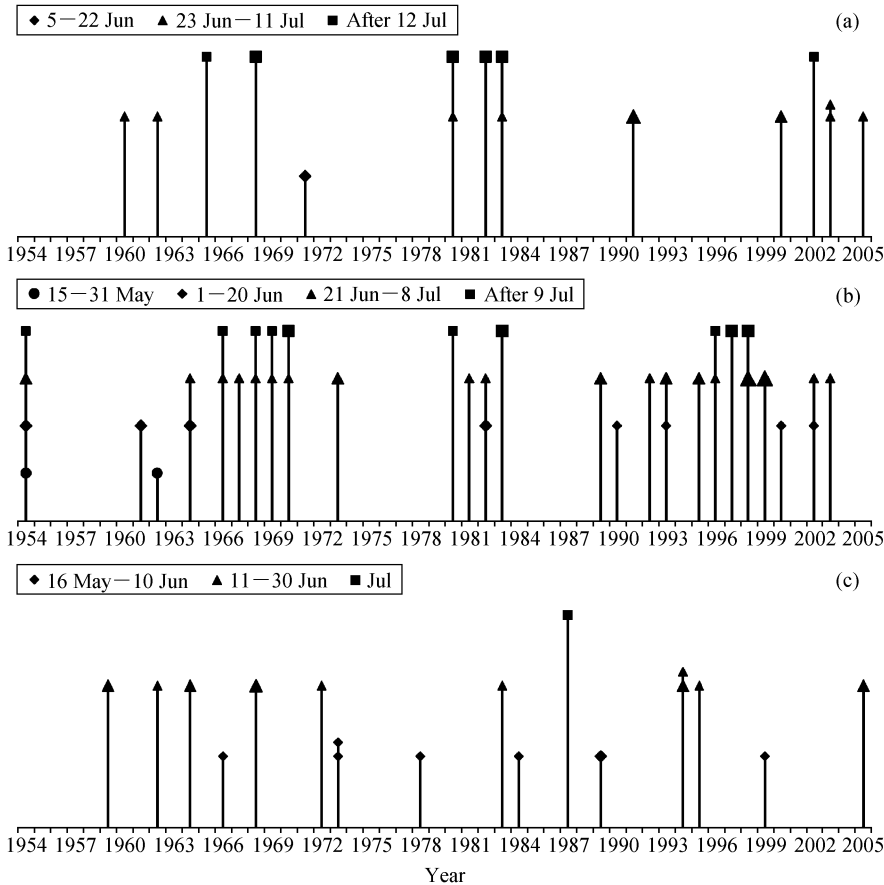


图 8 1954~2005 年南方锋面型持续性暴雨事件发生的年际、季节内变化：(a) 江淮型；(b) 江南型；(c) 华南型  
Fig. 8 The interannual and intraseasonal variations of the occurrence for the southern front type of regional persistent heavy rain from 1954 to 2005: (a) The Yangtze River-Huaihe River type; (b) the southern parts to the Yangtze River type; (c) South China type



表 6 同表 1, 但为华南低压型

Table 6 As in Table 1, but for the tropical depression type in South China

| 发生时间               | 持续时间/d | 发生时间                | 持续时间/d | 发生时间               | 持续时间/d |
|--------------------|--------|---------------------|--------|--------------------|--------|
| 1960 年 8 月 10~12 日 | 3      | 1972 年 8 月 17~19 日  | 3      | 1986 年 7 月 11~13 日 | 3      |
| 1961 年 8 月 26~28 日 | 3      | 1974 年 10 月 18~20 日 | 3      | 1990 年 8 月 20~22 日 | 3      |
| 1964 年 8 月 9~11 日  | 3      | 1976 年 8 月 24~26 日  | 3      | 1990 年 9 月 8~10 日  | 3      |
| 1967 年 8 月 3~5 日   | 3      | 1981 年 7 月 22~24 日  | 3      | 1993 年 8 月 20~22 日 | 3      |
| 1969 年 7 月 28~30 日 | 3      | 1985 年 8 月 25~27 日  | 3      | 2001 年 8 月 29~31 日 | 3      |
| 1970 年 8 月 3~5 日   | 3      | 1985 年 9 月 6~8 日    | 3      |                    |        |

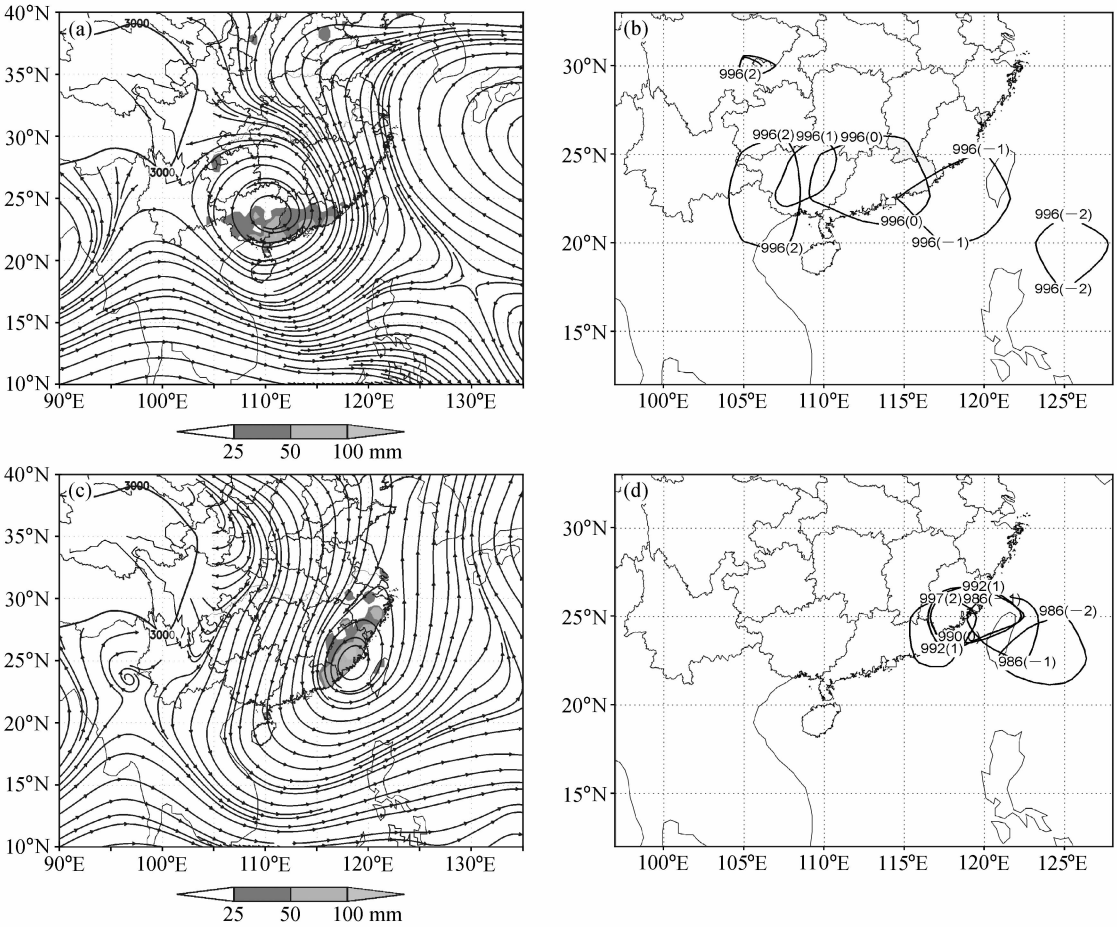


图 9 1969 年 7 月 28~30 日 (a, b) 与 1990 年 8 月 20~22 日 (c, d) 华南低压型持续性暴雨的环流形势: (a, c) 700 hPa 流场和  $\geq 25$  mm 的日均降水量 (阴影); (b, d) 海平面气压逐日演变 (单位: hPa)

Fig. 9 The general circulation of the tropical depression type in South China for the cases during 28–30 Jul 1969 (a, b) and 20–22 Aug 1990 (c, d): (a, c) 700 hPa stream fields and mean precipitation more than 25 mm (shading); (b, d) the daily sea level pressure (hPa)

1999、2003; 同年发生三类南方锋面型持续性暴雨的年份有: 1962、1968、1983。这与我国南方旱涝的年际变化也是一致的。我们还注意到, 1954 年在江南发生了 4 次同一型的持续性暴雨, 这是导致特大洪涝的重要原因。从年代际变化上看, 20 世纪 60 年代和 90 年代是江南型持续性暴雨的多发时

期, 除了 1980~1983 年外, 70~80 年代江南型持续性暴雨很少发生; 江淮型持续性暴雨也是在 60 年代较多, 此外发生在 1980~1983 年和 1991 年, 最近几年江淮型持续性暴雨时有发生。从以上这些统计分析来看, 本文应用的区域持续性暴雨客观定义的方法是符合我国南方雨涝变化实际情况的。



4.4 华南低压型

在我国华南地区,除了前汛期比较多地发生锋面型的持续性暴雨外,还有一类低压型持续性暴雨。这类暴雨发生在后汛期,是由南海到菲律宾以东洋面上生成的热带低压(包括台风)在华南登陆后,低压系统缓慢移动直至减弱而造成的持续性暴雨。表 6 统计的是近 50 年华南低压型持续性暴雨事件。可以看到,华南低压型暴雨一般只能持续 3 日,一是由于热带低压系统的移动暴雨不易持续在相同地点发生,二是随着低压减弱而不再有暴雨发生。

图 9 是表 6 中两例华南低压型持续性暴雨的大气环流形势,但与图 3 不同的是:图 9b、d 是每日海平面气压的演变,等值线为每日的海平面气压值,括号内表示相对于第一天开始发生持续性暴雨为第几日,如(−2)表示发生持续性暴雨的前 2 天,(−1)表示前 1 天,(0)表示发生持续性暴雨的第一天,(1)表示第 2 天,(2)表示第 3 天。从 700 hPa 流场(图 9a、c)上可以看到,持续性暴雨发生在热带低压的中、右部来自海面的潮湿气流中。从海平面气压场(图 9b、d)可以更清楚地看出,随着从南海或菲律宾以东洋面上生成的热带低压向西登陆到华南,这个低压系统当移动缓慢时,就会在华南地区引起区域性的持续性暴雨,一般低压登陆后的第三天,低压系统减弱很多,因此区域性暴雨不易再发生。大部分的华南低压型暴雨过程中低压系统向西移动,暴雨的落区和强度也随着低压系统的西移减弱而相应变化。

5 总结

本文研究了近 50 年我国持续性暴雨的气候状况以及在大尺度环流方面的共性特征。为了描述统

计持续性暴雨事件,本文采用了局地持续性暴雨和区域持续性暴雨两种客观定义的方法来研究,主要结论有:

(1) 根据局地持续性暴雨的客观定义分析了持续性暴雨的季节分布和地理分布。我国局地持续性暴雨多发生在夏季,其中 6 月最多;地理上多发生在江南和华南,结合区域持续性暴雨研究,江南地区的持续性暴雨多发生在 6 月,而华南地区的持续性暴雨既有前汛期的华南型持续性暴雨,也有后汛期的华南低压型持续性暴雨。

(2) 根据区域持续性暴雨的客观定义,我国持续性暴雨有四种主要类型:渤海辽西型、北方经向型、南方锋面型和华南低压型,其中南方锋面型又可根据发生的区域分为江淮型、江南型和华南型。对这六类区域持续性暴雨的历史事件进行了统计分析,对每类持续性暴雨分析了大尺度环流背景的共性特征,结果可以简单地用表 7 表示。

(3) 南方锋面型持续性暴雨发生次数最多,对这类持续性暴雨,本文还分析了江淮型、江南型和华南型暴雨发生的年际、季节内变化。区域持续性暴雨的客观定义方法所得到的结果与我国南方旱涝变化一致,这表明本文所用的定义方法具有一定的客观性。同样,区域持续性暴雨的客观定义在北方所统计的个例与文献[1, 10]也是基本一致的。本文统计分析的近 50 年各类区域持续性暴雨事件的结果(见表 1~6)可供今后研究工作参考。

本文根据近 50 年 730 站逐日降水资料统计,分析了我国持续性暴雨的几种主要类型并讨论了它们的大尺度环流背景,稳定的大尺度环流形势是暴雨持续发生的必要条件并可能受气候背景的制约,而本文还没有讨论环流的稳定性问题。此外,持续性暴雨的发生是在一定的大尺度环流背景下的中尺

表 7 近 50 年我国各类区域持续性暴雨特征对比

Table 7 Contrast of the characteristics among all types of regional persistent heavy rain in the last 50 years over China

| 类型    | 发生次数 | 发生季节         | 持久性         | 主要环流背景                           |
|-------|------|--------------|-------------|----------------------------------|
| 渤海辽西型 | 少    | 7 月中下旬之后     | 短, 3 天      | 高压稳定在日本南部附近                      |
| 北方经向型 | 少    | 7~8 月        | 短(个别长)      | 一类北高压坝与南低压对峙; 一类日本海高压与青藏高原对峙     |
| 南方锋面型 |      |              |             |                                  |
| 江淮型   | 中间   | 6 月中旬~8 月初多  | 一般 3~5 天,   | 西太副高稳定, 5840 线在江淮, 冷空气多来自北方宽槽    |
| 江南型   | 多    | 5 月下旬~7 月下旬多 | 有的长达 8~13 天 | 西太副高稳定, 5840 线在江南, 冷空气来自宽槽型或东亚深槽 |
| 华南型   | 中间   | 5 月中旬~6 月下旬多 |             | 西太副高稳定, 5840 线在华南, 冷空气多来自东亚深槽    |
| 华南低压型 | 中间   | 7 月下旬~9 月上旬多 | 短           | 在华南移动较慢的热带低压                     |

度天气现象, 因此不同尺度的相互作用对持续性暴雨发生的影响有必要进一步去研究。

### 参考文献 (References)

- [1] 陶诗言等. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 1980. 225pp  
Tao Shiyan, et al. *The Torrential Rain in China* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1980. 225pp
- [2] 丁一汇. 1991 年江淮流域持续性特大暴雨研究. 北京: 气象出版社, 1993. 255pp  
Ding Yihui. *Study on Persistent Heavy Rainfalls in the Yangtze and Huaihe River Valley in 1991* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1993. 255pp
- [3] 国家气候中心. 1998 年大洪水和气候异常. 北京: 气象出版社, 1998. 139pp  
National Climate Center. *Floods and Climate Anomaly in China in 1998* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1998. 139pp
- [4] 张雁, 丁一汇, 马强. 持续性梅雨锋暴雨的环流特征分析. 气候与环境研究, 2001, **6**: 161~167  
Zhang Yan, Ding Yihui, Ma Qiang. Analysis of the atmospheric circulation in relation to persistent rain storm on the Meiyu front. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2001, **6**: 161~167
- [5] 夏茹娣, 赵思雄, 孙建华. 一类华南锋前暖区暴雨  $\beta$  中尺度系统环境特征的分析研究. 大气科学, 2006, **30**: 988~1008  
Xia Rudi, Zhao Sixiong, Sun Jianhua. A study of circumstances of meso- $\beta$ -scale systems of strong heavy rainfall in warm sector ahead of fronts in South China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2006, **30**: 988~1008
- [6] Tao Shiyan, Ding Yihui. Observational evidence of the influence of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau on the occurrence of heavy rain and severe convective storms in China. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1981, **62**: 23~30
- [7] Zhai Panmao, Zhang Xuebin, Wan Hui, et al. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China. *J. Climate*, 2005, **18**: 1096~1108
- [8] 鲍名, 黄荣辉. 近 40 年我国暴雨的年代际变化特征. 大气科学, 2006, **30**: 1057~1067  
Bao Ming, Huang Ronghui. Characteristics of the interdecadal variations of heavy rain over China in the last 40 years. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2006, **30**: 1057~1067
- [9] 陶诗言, 徐淑英. 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征. 气象学报, 1962, **32**: 1~10  
Tao Shiyan, Xu Shuying. Some aspects of the circulation during the periods of the persistent drought and flood in Yangtze and Hwai-Ho valleys in summer. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1962, **32**: 1~10
- [10] 雷雨顺. 经向型持续性特大暴雨的合成分析. 气象学报, 1981, **39**: 168~181  
Lei Yushun. The compositive analysis of the meridional type persistent severe rainstorms. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1981, **39**: 168~181
- [11] 张顺利, 陶诗言, 张庆云, 等. 长江中下游致洪暴雨的多尺度条件. 科学通报, 2002, **47**: 467~473  
Zhang Shunli, Tao Shiyan, Zhang Qingyun, et al. Large and meso- $\alpha$  scale characteristics of intense rain in the mid- and lower reaches of the Yangtze River. *Chinese Science Bulletin*, 2002, **47**: 779~786
- [12] 张庆云, 陶诗言, 张顺利. 1998 年嫩江、松花江流域持续性暴雨的环流条件. 大气科学, 2003, **27**: 1018~1030  
Zhang Qingyun, Tao Shiyan, Zhang Shunli. A study of excessively heavy rain in the Songhuajiang- Nenjiang River valley in 1998. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27**: 1018~1030