

The Climatic Distribution Characteristics of Heavy Precipitation Process in the Lower Changjiang River Region

Juying Chen¹, Wei Wang², Tao Zhu², Zhiqiang Ji^{2*}

¹Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing

²CMA Public Meteorological Service Center, Beijing

Email: *124026824@qq.com

Received: Dec. 20th, 2014; accepted: Jan. 6th, 2015; published: Jan. 19th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The lower Changjiang River region, with four distinct seasons, is one of the most obvious areas influenced by monsoon. In winter, it is mainly affected by the dry and cold winter monsoon from Siberia; in summer, the hot and humid summer monsoon induced by subtropical system plays an important role in this region. The period from May to August is the rainy and flood season, and precipitation usually happens as a result of the meeting and interaction between the hot and humid air mass from subtropical system and the cold air mass from the North. June-July is the period characterised by summer monsoon, when meeting with the strong cold air from Siberia, the persistent intensive turbulence motion will be generated, which in turn leads to the continuous heavy precipitation; that is the typical process of plum rains. In the field of meteorology, there are many studies regarding to the plum rains with most of them focusing on specific case studies of the weather processes and the lack of research achievements concerning climatological statistics of the heavy precipitation processes. This paper statistically analysed the distribution characteristics of daily precipitation point by point during the period from May to August between 1951 and 2014 in the lower Changjiang River region (12 stations, e.g. Shanghai, etc.); the study showed the anomalies of spatial and temporal distribution of the heavy precipitation processes in the lower Changjiang River region. The presented result in this paper is the part of scientific achievements obtained from accomplishing an industry-specialized project undertaken by Shanghai Climate Center and this work is funded by Program 201306065.

Keywords

Lower Changjiang River Region, Flood Season, Heavy Precipitation

*通讯作者。

长江下游地区强降水过程的气候分布特征

陈菊英¹, 王 威², 朱 涛², 冀志强^{2*}

¹中国气象科学研究院, 北京

²中国气象局公共气象服务中心, 北京

Email: 124026824@qq.com

收稿日期: 2014年12月20日; 录用日期: 2015年1月6日; 发布日期: 2015年1月19日

摘 要

长江下游地区的强降水是受季风影响最明显的区域之一, 年内四季分明。冬季主要受来自西北利亚的干冷冬季风影响, 夏季主要受副热带系统带来的湿热夏季风影响。5~8月是汛期雨季, 副热带系统的湿热气团和来自北方的冷气团经常在这里相遇和相互作用而产生降水。6~7月是夏季风盛行期, 在遇到西伯利亚下来的强冷空气后就会在这里发生持续性的强烈湍流运动, 就会产生持续性强降水过程, 也就是典型梅雨过程。在气象界, 有关梅雨方面的研究成果较多, 可大多是对梅雨过程的具体个例分析研究, 很少见到对强降水过程的气候统计特征研究成果。本文统计分析了长江下游地区(上海等12站)在1951~2014年期间的逐点5~8月逐日降水量的分布特征, 研究和揭示了长江下游地区强降水过程的时空分布异常特点。该成果是在完成上海气候中心承担的行业专项任务中取得的部分成果, 本文得到了专项(专项编号: 201306065)资助。

关键词

长江下游, 汛期, 强降水

1. 引言

在此之前, 很多专家学者对中国旱涝的变化规律和成因及其预报方法进行了诊断分析和探讨研究[1]-[9], 也有少数专家对 1980 年以前的中国暴雨[10]、1991 年江淮流域的持续性暴雨[11]、1998 年长江流域的特大暴雨过程及其成因进行了个例解剖和机理揭示[12]。在文献[13]中, 作者对长江中下流域梅雨的气候过程即近 30 年(1981~2010 年)平均的长江中下地区平均的逐日降水量分布特征和 1998、1999、1996、1983、1995、1980、1991 年的长江中下流域强暴雨过程及其形成机理做了系统性研究和揭示。在 2013 年承担上海气候中心负责的行业专项《副热带季风区内强降水事件预报方法研发及业务化应用》中的《长江下游最大过程降水年际变化特征和预测模型研究》课题的研发任务以来, 我们全面深入地对长江下游地区的强降水过程就行了统计, 对历年最大暴雨过程的分布特征进行了系统性揭示。本文采集了长江下游地区的历年汛期 5~8 月的单点逐日降水资料, 在对大量的原始观测数据的分析基础上, 我们选取了 12 个观测资料较长的气象站作为长江下游的代表站, 这 12 个代表站是: 上海、南通、常州、南京、芜湖、安庆、屯溪、景德镇、南昌、九江、修水、杭州。我们统计分析了这 12 个站点的历年(1951~2014 年)其中常州、芜湖、景德镇、修水 4 个站点是 1952~2014 年)汛期(5~8 月)逐日降水量的时空分布特点和气候异常变化特征, 这 12 个站点的空间分布如图 1 所示。在文中分别统计分析了这 12 个单点和 12 个站平均的暴雨和大暴雨乃至特大暴雨的时空分布特点与气候异常变化特征, 统计分析了日最大降水量的时空分布特点和气候异常变化特征, 重点统计分析了最大 3 天、5 天、7 天、9 天滑动过程降水总量的时空分布

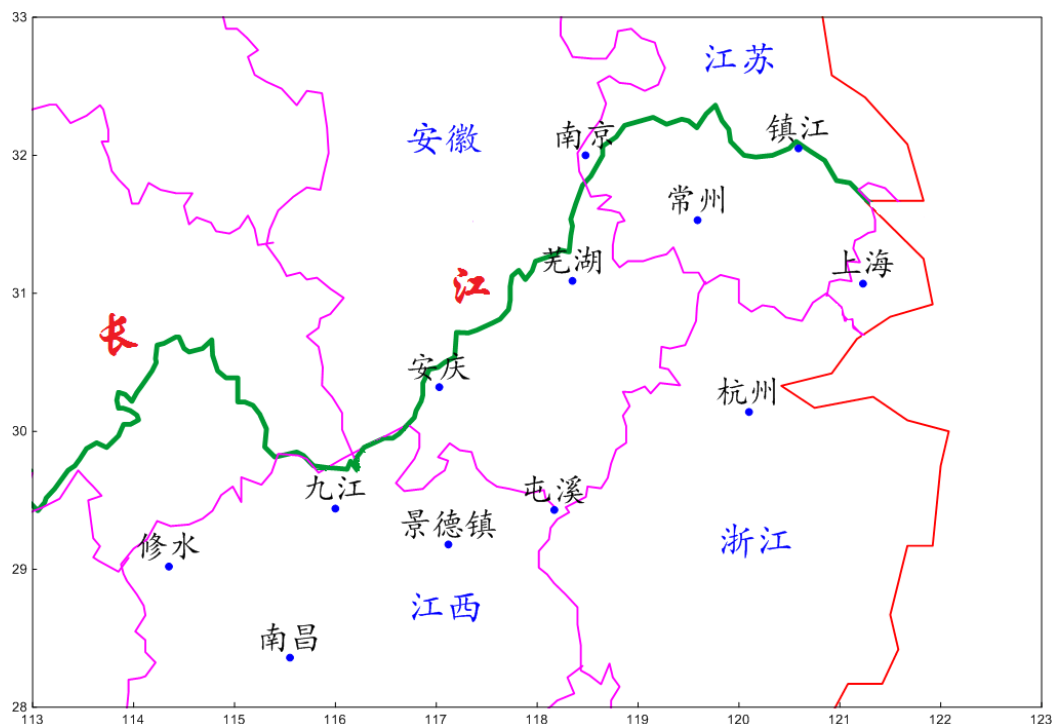


Figure 1. Geographical information map of 12 stations

图 1. 12 站点地理信息图

特点和气候异常变化特征。文中揭示了许多长江下游地区强降水的时空分布异常特点及其异常的但有规律性的年际变化特征，具体统计结果详见正文。

2. 长江下游地区暴雨和大暴雨日数的气候分布特征

长江下游地区取 12 个站点作为代表站：上海、常州、镇江、南京、芜湖、安庆、屯溪、景德镇、南昌、九江、修水、杭州等 12 站代表，12 个站点的平均降水量作为长江下游地区的降水量。12 个站点的单点暴雨(50 mm~99.9 mm)总日数作为长江下游地区的暴雨日数，12 个站点的单点大暴雨(100 mm~249.9 mm)总日数作为长江下游地区的大暴雨日数，12 个站点的特大暴雨(≥ 250 mm)总日数作为长江下游地区的特大暴雨日数。

2.1. 暴雨日数的气候分布特征

长江下游地区 12 个代表站的暴雨、大暴雨、特大暴雨日数总和(日降水量 ≥ 50 mm)单点暴雨日数的总和在近 60 年(1951~2010 年)的平均值是 39.5 个，即平均每年有 39.5 个单点暴雨日数，平均每年每个单点有 3.3 个暴雨日(包括大暴雨日和特大暴雨日)。

其中，单点暴雨(50 mm~99.9 mm)总日数的 60 年平均值是 32.5 个，单点大暴雨和特大暴雨(日降水量 ≥ 100 mm)总日数的 60 年平均值是 6.9 个，其中日降水量达到 250 mm 以上的特大暴雨总共只有 6 个，平均每年 0.1 个。从分月来看，在 5~8 月的 60 年平均暴雨日数(39.5 个)中，5 月占 7.9 个，6 月占 14.9 个，7 月占 10.4 个，8 月占 6.3 个。可见，6 月是长江下游地区暴雨的气候高峰月，7 月是气候次峰值月。但各地区的暴雨气候峰值月是：上海是 6 月(0.7 个)和 7 月(0.7 个)、常州是 7 月(0.9 个)、镇江是 7 月(0.9 个)、南京是 7 月(1.1 个)、芜湖是 6 月(0.9 个)和 7 月(0.9 个)、安庆是 6 月(1.7 个)、屯溪是 6 月(1.8 个)、景德镇是 6 月(1.8 个)、南昌是 6 月(1.8 个)、九江是 6 月(1.3 个)、修水是 6 月(1.6 个)、杭州是 6 月(1.0 个)。

长江下游暴雨日数的年际分布特征是年际振幅很大。12 个单点暴雨日数的 60 年平均值、暴雨最多年、暴雨最少年的分布特征如表 1 所示。其中, 常州、芜湖、景德镇、修水四站是 59 年(1952~2010 年)平均值, 其余 8 个站点都是 60 年(1951~2010 年)平均值。从暴雨日数的多年(60 年或 59 年)平均值的空间分布来看, 景德镇最多, 平均每年有 5.0 个, 5~8 月有 10 个以上暴雨日(日降水量 ≥ 50 mm, 下同)的年份有 6 个: 1954 (11 个)、1956 (12 个)、1983 (10 个)、1993 (10 个)、1998 (13 个)、1999 (10 个)年; 安庆、屯溪、南昌三个地区次多, 平均每年有 4.1 至 4.5 个。安庆 5~8 月有 10 个以上暴雨日的年份有 3 个: 1953 (10 个)、1969 (10 个)、1999 (13 个)。屯溪 5~8 月有 10 个以上暴雨日的年份只有 1999 年(12 个)。南昌 5~8 月没有 10 个以上暴雨日的年, 但是有 9 个暴雨日的年份有 3 个: 1962、1995、1998 年; 上海、常州、杭州三个地区最少, 其中上海平均每年只有 2.3 个, 常州和杭州平均每年只有 2.4 个。上海 1999 年 5~8 月发生了 10 个暴雨日, 其余年份均在 6 个以下。常州 2011 年 5~8 月有 9 个暴雨日, 1991 年有 7 个暴雨日, 2014 年有 6 个暴雨日, 其余年份均只有 5 个以下。杭州最多年(1954 年)只有 9 个暴雨日, 1999 年有 8 个暴雨日, 1973 年、1994 年、2011 年 5~8 月有 6 个暴雨日, 其余年份都在 5 个以下; 其余地区平均每年有 2.5 至 3.8 个。

全区 12 个站点总暴雨日数的年际变化特征如图 2 所示。长江下游地区(12 站)汛期(5~8 月)单点暴雨总日数较常年同期偏多年的概率只有 44% (28/64), 较常年同期偏少年的概率有 56% (36/64)。

5~8 月达到和超过 55 个暴雨日的年份有 9 个: 暴雨日数最多年是 1954 年(97 个), 平均每个站点有 8.1 个暴雨日, 安庆、景德镇、九江、修水地区有 11~13 个暴雨日, 12 个地区中的暴雨日数均较常年同期偏多; 暴雨日数次多年是 1999 年(91 个), 平均每个站点有 7.6 个暴雨日, 上海、安庆、屯溪、景德镇、九江地区有 10~13 个暴雨日, 12 个地区中(除了镇江以外)有 11 个地区的暴雨日数较常年同期偏多; 第三个多暴雨年是 1956 和 1998 年(64 个), 平均每个站点有 5.3 个暴雨日, 其中, 1956 年安庆、景德镇地区有 10~12 个暴雨日, 12 个地区中有 8 个地区的暴雨日较常年同期偏多。而 1998 年景德镇地区出现了 13 个暴雨日, 12 个地区中有 9 个地区的暴雨日较常年同期偏多; 第四个多暴雨年是 1969 年(63 个), 平均每个站点有 5.3 个暴雨日, 12 个地区中有 10 个地区的暴雨日较常年同期偏多; 第五个多暴雨年是 1983 年(60 个), 平均每个站点有 5.0 个暴雨日, 景德镇地区有 10 个暴雨日, 12 个地区中有 8 个地区的暴雨日较常年同期偏多; 其余 3 个多暴雨年是 1991 (58 个)、1995 (57 个)、1993 (56 个)年, 平均每站有 4.8 个暴雨日。以上绝大多数是长江中下游流域的大水年和洪涝年。

长江下游地区 5~8 月暴雨日数不足 21 个的有 4 年: 1958 (20 个)、1965 (19 个)、1968 (9 个)、1978 (18

Table 1. The multi-year average climate characteristics and inter-annual fluctuation statistics of single point-based rainstorm days (daily precipitation ≥ 50 mm) in the lower Yangtze River region between May-August from 1951-2014

表 1. 长江下游地区在 1951~2014 年期间 5~8 月单点暴雨(日降水量 ≥ 50 mm)日数的多年平均气候特征和年际振幅的统计特征

地区名	上海	常州	镇江	南京	芜湖	安庆	屯溪	景德镇	南昌	九江	修水	杭州
60年平均值(个)	2.3	2.4	2.5	2.7	2.6	4.5	4.3	5.0	4.1	3.3	3.7	2.4
偏多年概率(%)	36	44	45	48	41	47	59	48	39	34	40	39
偏少年概率(%)	64	56	55	52	59	53	41	52	61	66	60	61
暴雨日数最多年	1999	2011	1970	1991	1991	1999	1999	1998	1962	1954	1954	1954
暴雨日数(个)	10	9	6	9	9	13	12	13	9	11	13	9
最少年(共有)	6年	4年	6年	6年	7年	3年	1968	1952	1961	5年	7年	6年
暴雨日数(个)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

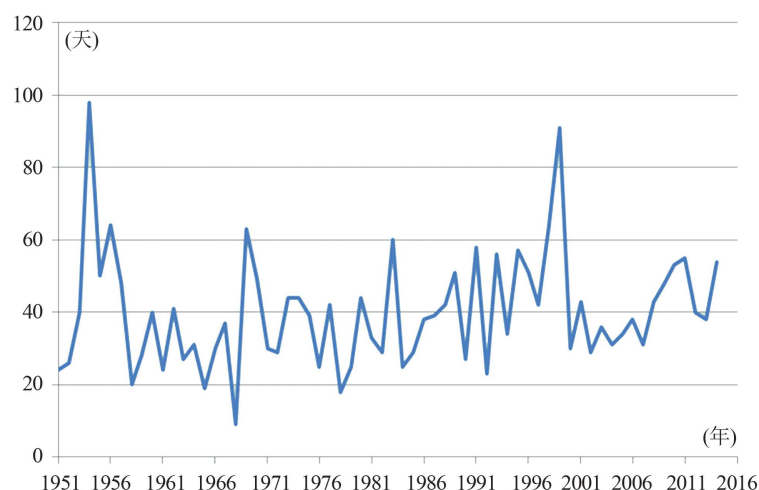


Figure 2. Inter-annual variation of the total number of single point-based rain-storm days (daily precipitation ≥ 50 mm) in the lower Yangtze River region (12 stations) between May-August from 1951-2014

图 2. 1951~2014 年 5~8 月长江下游地区(12 站)单点暴雨(日降水量 ≥ 50 mm)总日数的年际变化特征

个), 这 4 年平均每站分别只有 1.7 个、1.6 个、0.8 个、1.5 个暴雨日。1958 年常州没有出现暴雨日, 其余 11 个地区分别出现了 1~3 个暴雨日; 1965 年镇江、安庆没有出现暴雨日, 屯溪出现了 5 个暴雨日(较常年同期偏多 1 个), 其余地区分别出现了 1~3 个暴雨日, 均较常年同期偏少; 1968 年上海、镇江、屯溪、九江没有出现暴雨, 南昌出现了 2 个暴雨日, 其余地区只有 1 个暴雨日; 1978 年常州、芜湖没有出现暴雨日, 南昌出现了 4 个暴雨日, 修水出现了 3 个暴雨日, 其余地区只有 1~2 个暴雨日, 均较常年同期偏少。这 4 个暴雨日特少年, 也是长江下游地区的 4 个特旱年, 大多是空梅年。

2.2. 强暴雨日数的气候分布特征

以上统计分析暴雨(日降水量 ≥ 50 mm)日数的气候分布特征。现在再来统计分析一下 12 个站点的单点强暴雨(日降水量 ≥ 100 mm)日数的气候分布特征, 长江下游地区大暴雨(100 mm~249.9 mm)和特大暴雨(≥ 250 mm)总日数的 60 年平均值是 6.9 个, 其中, 6.8 个是大暴雨, 0.1 个是特大暴雨。

由表 2 可见, 上海没有发生过特大暴雨, 大暴雨发生的气候频率也是长江下游地区最小的, 5 年里不足 1 个大暴雨日。5 月没有发生过特大暴雨, 8 月发生大暴雨的概率相对较大; 常州也没有发生过特大暴雨, 平均 2~3 年有 1 个大暴雨日发生, 7 月和 6 月发生大暴雨的几率相对较大; 镇江在近 64 年里仅有的 1 个特大暴雨发生在 1960 年 8 月 4 日(287 mm), 平均 5 年不足 2 个大暴雨日, 6 月和 7 月发生大暴雨的几率相对较大; 南京没有发生特大暴雨, 平均 5 年不足 3 个大暴雨日, 7 月发生大暴雨的几率相对较大; 芜湖也没有发生过特大暴雨, 平均 2 年发生 1 个大暴雨日, 6 月发生大暴雨的几率相对较大; 安庆在近 64 年里发生过 2 个特大暴雨日, 分别是 1954 年 6 月 24 日(262 mm)和 2010 年 7 月 13 日(300 mm), 平均 2 年多就可能发生 2 个大暴雨日, 6 月和 7 月出现大暴雨的概率相对较大, 5 月和 8 月出现大暴雨日的概率很小; 屯溪也没有发生过特大暴雨, 平均每年有 1 个大暴雨日, 是长江下游地区大暴雨发生概率最大的区域, 大暴雨主要集中在 6 月; 景德镇在近 63 年里发生过 1 个特大暴雨日, 在 2012 年 8 月 10 日(301 mm), 平均 2 年多就有 2 个大暴雨日, 6 月发生大暴雨的几率相对较大; 南昌在近 64 年里发生过 2 个特大暴雨日, 1973 年 6 月 24 日(289 mm)、2003 年 6 月 25 日南昌(279 mm), 平均 3 年里有 2 个大暴雨日, 大暴雨主要集中在 6 月; 九江没有出现过暴雨日, 平均 2 年有 1 个大暴雨日, 大暴雨主要集中在 6 月。

修水没有出现过特大暴雨日，平均不足 2 年就发生 1 个大暴雨日，大暴雨主要集中在 6 月；杭州没有过特大暴雨，发生大暴雨的概率也很小，仅次于上海，平均 4 年有 1 个大暴雨日，6 月发生大暴雨的概率相对较大些。

3. 最大日降水量的多年平均气候特征和年际变化特征的统计分析

3.1. 最大日降水量的多年平均气候特征和绝大绝小值的统计分析

长江下游地区 12 个站的近 60 年(1951~2010 年，其中常州、芜湖、景德镇、修水是 59 年(1952~2010 年)，下同)平均(简称多年平均)汛期(5~8 月)最大日降水量、最大日降水量的绝大值和极小值及其发生的日期和年际最大振幅如表 3 所示，长江下游地区各个测站的日最大降水量的多年平均值表明，安庆地区最大，有 117 mm，安庆、景德镇、屯溪、、南昌、芜湖、修水日最大降水量的多年平均值(简称常年值)有 102~117 mm，其余地区只有 80~98 mm。每个站点的日最大降水量的多年(60 年或 59 年)平均值的空间

Table 2. Statistics of the total number of severe rainstorm days (≥100 mm) in the lower Yangtze River region from 1951-2014

表 2. 长江下游地区在 1951~2014 年期间强暴雨(≥100 mm)总日数的统计结果

地区名	上海	常州	镇江	南京	芜湖	安庆	屯溪	景德镇	南昌	九江	修水	杭州
5月	0	2	1	1	3	10	9	7	10	3	4	1
6月	3	9	9	10	16	24	37	27	29	15	27	7
7月	2	9	9	18	12	21	16	15	6	9	8	3
8月	8	6	7	5	3	5	2	9	4	10	1	5
5~8月	13	26	26	34	34	60	64	58	49	37	40	16
年平均发生频次	0.20	0.43	0.43	0.57	0.57	0.94	1.00	0.91	0.77	0.58	0.63	0.25
大暴雨日数	13	26	25	34	34	58	64	57	47	37	40	16
特大暴雨日数	0	0	1	0	0	2	0	1	2	0	0	0

(注：6 个特大暴雨发生的时间和地点分别是：1960 年 8 月 4 日镇江(287 mm)、1954 年 6 月 24 日安庆(262 mm)、2010 年 7 月 13 日安庆(300 mm)、2012 年 8 月 10 日景德镇(301 mm)、1973 年 6 月 24 日南昌(289 mm)、2003 年 6 月 25 日南昌(279 mm)。

Table 3. Statistical characteristics of the extremum of maximum single point-based daily precipitation and the inter-annual variability of their occurring dates in the lower Yangtze River region (12 stations) from May to August between 1951-2014

表 3. 在 1951~2014 年期间 5~8 月长江下游地区(12 站)单点最大日降水量的极值及其出现日期的年际变率统计特征

地区名	上海	常州	镇江	南京	芜湖	安庆	屯溪	景德镇	南昌	九江	修水	杭州	最大平均	平均最大
多年均值(mm)	83	89	91	98	102	117	113	114	110	98	104	80	100	49
极大值(mm)	204	196	287	207	245	300	209	301	813	249	233	142	150	88
较常年偏大(%)	146	120	215	111	140	156	85	164	163	154	124	78	50	80
出现年份	1969	1994	1960	2003	1953	2010	2006	2012	1973	1975	1983	1954	1969	1970
日期(月.日)	8.05	8.19	8.04	7.05	6.25	7.13	5.09	8.10	6.24	8.14	7.07	5.19		7.13
极小值(mm)	35	33	42	36	35	40	49	41	44	42	52	35	65	25
较常年偏小(%)	-58	-63	-54	-63	-66	-66	-57	-64	-60	-57	-50	-56	-35	-49
出现年份	1984	1958	1968	1952	1985	1961	1968	1952	1961	1968	2000	1981	1968	1968
日期(月.日)	7.31	8.12	7.10	8.03	6.24	6.07	8.08	8.25	6.09	5.16	6.06	8.13		5.05
两极值比(倍)	5.8	5.9	6.8	5.8	7.0	7.5	4.3	7.3	6.6	5.9	4.5	4.1	2.3	3.5

平均值是 100 mm, 但 12 个站平均(空间平均)逐日降水量的多年(60 年或 59 年)平均值只有 49 mm。这是由每个地区的日最大降水量出现日期的差异造成的。

日最大降水量的极大值中心区域在景德镇和安庆地区(分别为 301 mm 和 300 mm), 杭州和常州地区最小(分别为 142 mm 和 196 mm), 其他地区有 204~287 mm, 每年日最大降水量的区域平均值的极大值是 150 mm。杭州和屯溪两地区的日最大降水量的极大值分别较常年值偏大 7.8 成和 8.5 成, 镇江地区较常年值偏大 2.15 倍, 其他 9 个地区较常年值偏大 1.11 倍至 1.64 倍。日最大降水量的极大值的区域平均值较常年偏大 5 成, 12 个区域平均的日最大降水量的极大值较常年偏大 8 成; 每个地区的日最大降水量的极小值中心区域在修水(52 mm), 其他地区只有 33~49 mm, 每年日最大降水量的区域平均值的极小值是 65 mm, 较常年偏小 3.5 成, 12 个区域平均的日最大降水量是 25 mm, 较常年偏小 4.9 成。这说明每个区域的日最大降水量的极大值出现的年份有明显的差异。每个地区日最大降水量的极大值出现的年份分别是芜湖(1953 年)、杭州(1954 年)、镇江(1960 年)、上海(1969 年)、南昌(1973 年)、九江(1975 年)、修水(1983 年)、常州(1994 年)、南京(2003 年)、屯溪(2006 年)、安庆(2010 年)、景德镇(2012 年)。极大值出现的日期比较分散: 屯溪、杭州出现在 5 月, 芜湖、南昌出现在 6 月, 南京、安庆、修水出现在 7 月, 其余 5 个地区出现在 8 月; 每个地区日最大降水量的极小值出现的年份分别是: 南京、景德镇(1952 年), 常州(1958 年), 安庆、南昌(1961 年), 镇江、屯溪、九江(1968 年), 杭州(1981 年), 上海(1984 年), 芜湖(1985 年), 修水(2000 年)。日最大降水量的极小值出现的日期在 5 月的有九江, 在 6 月的有芜湖、安庆、南昌、修水, 在 7 月的有上海、镇江, 在 8 月的有常州、南京、屯溪、景德镇、杭州。12 个站点 5~8 月最大日降水量的平均值的极大值出现在 1969 年(150 mm), 12 个站点平均逐日降水量的最大值的极大值出现在 1970 年(88 mm)。

3.2. 最大日降水量年际变化特征的统计分析

长江下游地区 5~8 月单点最大日降水量的区域平均值的年际变化特征和逐日区域平均最大日降水特征分别如图 3(a)和图 3(b)所示。

由图 3 可见, 1951~2014 年 5~8 月长江下游地区单点最大日降水量的区域平均值的年际变化特征(a)

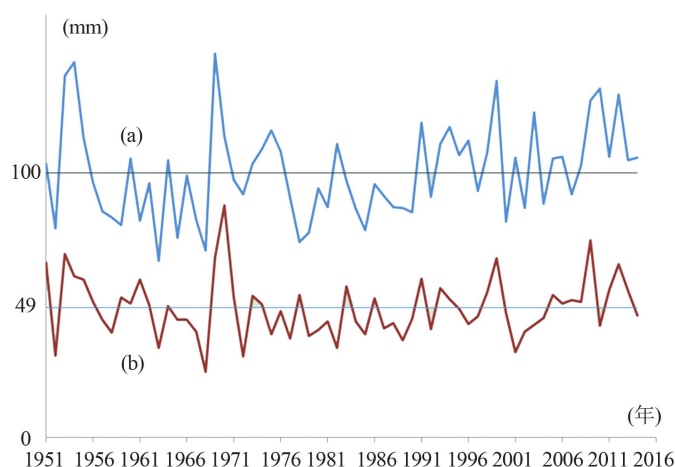


Figure 3. The inter-annual variation of the regional mean of maximum daily precipitation (a) and the inter-annual variation of daily regional mean of maximum daily precipitation (b) in the lower Yangtze River region from May to August between 1951-2014

图 3. 1951~2014 年 5~8 月长江下游最大日降水量的区域平均值的年际变化特征(a)和逐日区域平均最大日降水量的年际变化特征(b)

表明多年平均值是 100 mm，偏大年的气候概率是 48% (31/64)，偏小年的气候概率是 52% (33/64)，而逐日区域平均最大日降水量的年际变化特征(b)表明多年平均值是 49 mm，偏大年的气候概率是 48% (31/64)，偏小年的气候概率是 52% (33/64)。两者距平趋势一致率是 72% (46/64)，不一致率是 28% (18/64)，这 28% 的不一致率是因为每年单点最大日降水量出现的具体日期不同而造成的。

4.3 天至 9 天滑动最大过程降水总量的气候分布特征

为了解长江下游地区(12 站点)强降水过程的时空年际变化气候特征，我们统计分析了 1951~2014 年期间 12 个单点及其平均的 5~8 月逐日降水量的 3 天、5 天、7 天、9 天滑动的最大过程降水总量及其出现时段，下面将对我们的统计结果逐一进行揭示。

4.1. 最大 3 天滑动过程降水总量的常年和极端气候分布特征

1951~2014 年长江下游地区(12 站)及其平均的 5~8 月逐日降水量的最大 3 天滑动过程降水总量多年平均值和极大值、极小值及其出现的年月日如表 4 所示。

单点最大 3 天滑动过程降水总量的多年(60 年或 59 年)平均值的空间分布特征是：安庆、屯溪、景德镇地区有 171~175 mm，修水、南昌有 151~160 mm，其余地区只有 116~148 mm，其中景德镇地区最大(175 mm)，上海地区最小(116 mm)。单点最大 3 天滑动过程降水总量的极大值的空间分布特征是：芜湖是中心区，有 492 mm，较常年偏大 2.32 倍。次大地区是景德镇有 466 mm，较常年偏大 1.66 倍；极大值最小地区是上海有 261 mm，较常年偏大 1.25 倍。极大值次小地区是南京有 278 mm，较常年偏大 1.01 mm。12 个单点最大 3 天滑动过程降水总量的极小值只有 36~79 mm，较常年偏小 5.1 成~7.2 成，单点最大 3 天滑动过程降水总量的极小值最小地区在常州(36 mm)，最大地区在屯溪(79 mm)。

常州和芜湖两地区的最大 3 天滑动过程降水总量的极大值是极小值的 9.1 倍，安庆和景德镇两地区的极大值是极小值的 7.6~7.3 倍，其他地区的极大值是极小值的 6.9~4.7 倍。单点最大 3 天滑动过程降水总量的区域平均值的多年平均值是 145 mm，其极大值是 217 mm，较常年偏大 5 成，极小值是 84 mm，较常年偏小 4.2 成。12 站点平均最大 3 天滑动过程降水总量的多年平均值是 91 mm，极大值是 158 mm，较常年偏大 7.4 成，极小值是 49 mm，较常年偏小 4.6 成。上面的统计结果说明长江下游地区最大 3 天滑

Table 4. Statistical characteristics of the extremum of total precipitation from maximum 3-day moving process and their occurring dates in the lower Yangtze River region (12 stations) from May to August between 1951-2014
表 4. 在 1951~2014 年期间长江下游地区(12 站)5~8 月最大 3 天滑动过程降水总量的极值及其出现日期的统计特征

地区名	上海	常州	镇江	南京	芜湖	安庆	屯溪	景德镇	南昌	九江	修水	杭州	最大平均	平均最大
60年均值(mm)	116	127	127	138	148	171	172	175	160	140	151	119	145	91
极大值(mm)	261	326	297	278	492	448	372	466	369	320	407	291	217	158
较常年偏大(%)	125	157	134	101	232	162	116	166	131	129	170	145	50	74
最大出现年份	2001	1991	1960	2007	1953	1953	1996	2012	1973	1975	1954	1996	1999	1999
日期(月.日~月.日)	8.06~ 8.08	7.01~ 7.03	8.02~ 8.04	7.07~7. 09	6.25~ 6.27	6.25~ 6.27	6.30~ 7.02	8.09~ 8.11	6.23~ 6.25	8.13~ 8.15	6.15~ 6.17	6.30~ 7.02		6.28~6.30
极小值(mm)	47	36	43	47	54	59	79	64	70	61	63	58	84	49
较常年偏小(%)	-59	-72	-66	-66	-64	-65	-54	-63	-56	-56	-58	-51	-42	46
最小出现年份	1968	1978	1968	1952	1978	1978	1968	1952	2007	2007	2009	1981	1968	1952
日期(月.日~月.日)	5.07~ 5.09	7.15~ 7.16	6.29~ 7.01	8.24~ 8.26	6.14~ 6.15	5.31~ 6.02	5.05~ 07	8.23~ 8.25	7.10~ 7.11	5.31~ 6.01	6.02	8.12~ 8.14		5.02~04
两极值比(倍)	5.6	9.1	6.9	5.9	9.1	7.6	4.7	7.3	5.3	5.2	6.5	5.0	2.6	3.2

动过程降水总量的年际变化是相当大的。

长江下游地区最大 3 天滑动过程降水总量的极大值出现的年份比较分散, 芜湖和安庆发生在 1953 年(6 月 25 日至 27 日)、修水发生在 1954 年(6 月 15 日至 17 日)、镇江发生在 1960 年(8 月 2 日至 4 日)、南昌发生在 1973 年(6 月 23 日至 25 日)、九江发生在 1975 年(8 月 13 日至 15 日)、常州发生在 1991 年(7 月 1 日至 3 日)、屯溪和杭州发生在 1996 年(6 月 30 日至 7 月 2 日和 7 月 14 日至 16 日)、上海发生在 2001 年(8 月 6 日至 8 日)、南京发生在 2007 年(7 月 7 日至 9 日)、景德镇发生在 2012 年(8 月 9 日至 11 日)。12 个单点最大 3 天滑动过程降水总量的区域平均极大值和 12 个单点平均最大 3 天滑动过程降水总量的极大值都发生在 1999 年, 前者每个单点发生最大的日期不同, 后者平均最大发生日期是在 1999 年 6 月 28 日至 30 日。

长江下游地区发生最大 3 天滑动过程降水总量的极小值的年份相对极大值而言比较集中, 南京和景德镇发生在 1952 年 8 月, 上海、屯溪和镇江分别发生在 1968 年的 5 月和 6 月底至 7 月初, 安庆发生在 1978 年 5 月底至 6 月初、芜湖发生在 1978 年 6 月、常州发生在 1978 年 7 月, 杭州发生在 1981 年 8 月, 九江发生在 2007 年的 5 月底至 6 月初、南昌发生在 2007 年的 7 月, 修水发生在 2009 年 6 月。长江下游最大 3 天滑动过程降水总量的极小值年份, 都是该地区的大旱年。

4.2. 最大 3 天滑动过程降水总量的年际变化统计和特征分析

1951~2014 年 5~8 月长江下游地区单点最大 3 天滑动过程降水总量的区域平均值的年际变化特征如图 4(a)所示, 逐日区域平均最大 3 天滑动过程降水总量的年际变化特征如图 3(b)所示。单点最大 3 天滑动过程降水总量的区域平均值(a)较常年偏大(正距平)年的气候概率是 47% (30/64), 较常年偏小(负距平)年的气候概率是 53% (34/64), 而逐日区域平均最大 3 天滑动过程降水总量(b)较常年偏大(正距平)年的气候概率是 45% (29/64), 较常年偏小(负距平)年的气候概率是 55% (35/64)。两者距平趋势一致年的概率为 77% (49/64), 两者距平趋势相反年的概率为 23% (15/64)。

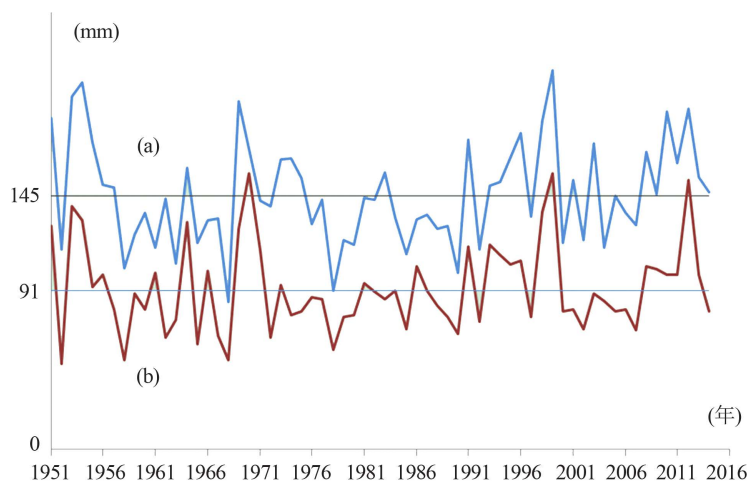


Figure 4. The inter-annual variation of the regional mean of single point-based total precipitation from maximum 3-day moving process (a) and the inter-annual variation of daily regional mean of total precipitation from maximum 3-day moving process (b) in the lower Yangtze River region (12 stations) from May to August between 1951-2014

图 4. 1951~2014 年 5~8 月长江下游地区单点最大 3 天滑动过程降水总量的区域平均值的年际变化特征(a)和逐日区域平均最大 3 天滑动过程降水总量的年际变化特征(b)

单点最大 3 天滑动过程降水总量的区域平均值的年际变化(a)的主要特征是持续性, 持续性偏大年有: 1953~1957 (5 年)、1969~1970 (2 年)、1973~1975 (3 年)、1993~1996 (4 年)、1998~1999 (2 年)、2008~2014 (7 年)都是持续性偏大年, 持续性偏大年占总偏大年的 77% (23/30), 只有 23% (7/30)的偏大年不持续; 持续性偏小年有: 1958~1963 (6 年)、1965~1968 (4 年)、1971~1972 (2 年)、1976~1982 (7 年)、1984~1990 (7 年)、2006~2007 年(2 年), 都是持续性偏小年, 持续性偏小年占总偏小年的 82% (28/34), 只有 18% (6/34)的偏小年不持续。可见在近 64 年中长江下游地区单点最大 3 天滑动过程降水总量的区域平均值的距平趋势有持续性的年份的气候概率达到 80% (51/64)。逐日区域平均最大 3 天滑动过程降水总量的年际变化(b)主要特征与(a)相似, 有持续性的年份的气候概率达到 77% (49/64)。

在 1952~2014 年期间, 单点最大 3 天滑动过程降水总量的区域平均值较常年偏大的 29 年中, 每年都有 4~10 个单点较常年偏大。其中有 7~10 个单点较常年偏大(大部地区都偏大)的气候概率为 48% (14/29), 有 4~6 个单点较常年偏大(近大半地区都偏大)的气候概率为 52% (15/29)。由此可见, 在单点最大 3 天滑动过程降水总量的区域平均值较常年偏大的年份, 并不是每个地区都偏大, 即使大部地区都偏大, 出现的日期大多也不相同。例如, 长江下游地区单点最大 3 天滑动过程降水总量的区域平均值超过 200 mm 的有 3 年: 1953、1954、1999 年, 最大 3 天滑动过程降水总量的区域平均值分别是 202 mm、210 mm、217 mm。1953 年的 12 个单点中有 5 个(上海、屯溪、景德镇、修水、杭州)较常年偏小, 有 7 个单点较常年偏大, 其中芜湖和安庆两地区在 6 月 25 日至 27 日的降水异常集中, 3 天降水总量有 448 mm~492 mm。1954 年和 1999 年这两年的 12 个单点中有 10 个偏大, 1954 年除上海和镇江较常年偏小外, 其他 10 个地区都较常年偏大, 最大 3 天降水量出现在 6 月 15 日至 17 日, 最大地区是修水(407 mm); 1999 年除南京和修水较常年偏小外, 其他 10 个地区都较常年偏大, 最大的地区是安庆(324 mm)。在 12 个单点中有 11~12 个单点的最大 3 天滑动过程降水总量较常年偏小的年份有 1963 年、1968 年、1978 年、1980 年、1989 年、1990 年、2000 年。

4.3. 最大 5 天滑动过程降水总量的常年和极端气候分布特征

1951~2014 年长江下游地区(12 站)及其平均的 5~8 月逐日降水量的最大 5 天滑动过程降水总量多年平均值和极大值、极小值及其出现的年月日如表 5 所示。

单点最大 5 天滑动过程降水总量的多年(60 年或 59 年)平均值的空间分布特征是: 景德镇、屯溪地区有 205~212 mm, 安庆、南昌地区有 194~195 mm, 其余地区只有 137~177 mm。其中屯溪地区最大(212 mm), 上海地区最小(137 mm)。单点最大 5 天滑动过程降水总量极大值的空间分布特征是: 最大是南昌有 649 mm, 较常年偏大 2.33 倍。次大是景德镇有 550 mm, 较常年偏大 1.68 倍; 最小地区是杭州有 299 mm, 较常年偏大 1.09 倍。次小地区是上海有 314 mm, 较常年偏大 1.29 mm。12 个单点最大 5 天滑动过程降水总量的极小值只有 49~103 mm, 较常年偏小 4.6 成~6.8 成, 单点最大 5 天滑动过程降水总量的极小值的最小地区在常州(49 mm), 最大地区在屯溪(103 mm)。

芜湖最大 5 天滑动过程降水总量的极大值是极小值的 9.2 倍, 南昌的极大值是极小值的 8.5 倍, 景德镇的极大值是极小值的 8.3 倍, 其他地区的极大值是极小值的 3.9~7.4 倍。单点最大 5 天滑动过程降水总量的区域平均值的多年平均值是 170 mm, 极大值是 274 mm, 较常年偏大 6.1 成, 极小值是 101 mm, 较常年偏小 4.1 成。逐日 12 站点平均最大 5 天滑动过程降水总量的多年平均值是 119 mm, 极大值是 228 mm, 较常年偏大 9.2 成, 极小值是 66 mm, 较常年偏小 4.5 成。上面的统计结果说明长江下游地区最大 5 天滑动过程降水总量的年际变化也是相当大的。

长江下游地区最大 5 天滑动过程降水总量的极大值的发生年份比较分散, 芜湖发生在 1953 年(6 月 24 日至 28 日)、修水发生在 1954 年(6 月 14 日至 18 日)、景德镇发生在 1955 年(6 月 18 日至 22 日)、南

Table 5. Statistical characteristics of the extremum of total precipitation from maximum 5-day moving process and the inter-annual variation of their occurring dates in the lower Yangtze River region (12 stations) from May to August between 1951-2014

表 5. 在 1951~2014 年期间长江下游地区(12 站)5~8 月最大 5 天滑动过程降水总量的极值及其出现日期的年际变化统计特征

地区名	上海	常州	镇江	南京	芜湖	安庆	屯溪	景德镇	南昌	九江	修水	杭州	最大平均	平均最大
60年均值(mm)	137	146	150	156	168	194	212	205	195	161	177	143	170	119
极大值(mm)	314	356	343	316	499	522	454	550	649	382	443	299	274	228
较常年偏大(%)	129	144	129	103	197	169	114	168	233	137	150	109	61	92
最大出现年份	1999	1991	1970	1969	1953	1951	1999	1955	1973	1999	1954	1997	1999	1999
日期(月.日~月.日)	6.26~ 6.30	7.01~ 7.05	7.12~ 7.16	7.14~ 7.18	6.24~ 6.28	7.12~ 7.16	6.25~ 6.29	6.18~ 6.22	6.21~ 6.25	6.26~ 6.30	6.14~ 6.18	7.07~ 7.11		6.26~ 6.30
极小值(mm)	56	49	54	58	54	71	103	66	76	61	83	74	101	66
较常年偏小(%)	-59	-66	-64	-63	-68	-63	-51	-68	-61	-62	-53	-46	-41	-45
最小出现年份	1968	1958	1968	1952	1978	1965	1984	1952	2007	2007	1968	2006	1968	1952
日期(月.日~月.日)	5.07~ 11	8.10~ 8.14	6.29~ 7.02	8.25~ 8.29	6.14~ 6.15	7.21~ 7.24	6.07~ 6.09	8.22	7.10~ 7.14	5.31~ 6.01	5.22~ 5.25	5.17~ 5.19		5.01~ 5.05
两极值比(倍)	5.6	7.3	6.4	5.4	9.2	7.4	4.4	8.3	8.5	6.3	5.3	3.9	2.7	3.5

京发生在 1969 年(7 月 14 日至 18 日)、镇江发生在 1970 年(7 月 12 日至 16 日)、南昌发生在 1973 年(6 月 21 日至 25 日)、常州发生在 1991 年(7 月 1 日至 5 日)、杭州发生在 1997 年(7 月 7 日至 11 日)、屯溪发生在 1999 年(6 月 25 日至 29 日)、上海和九江发生在 1999 年(6 月 26 日至 30 日)、安庆发生在 1951 年(7 月 12 日至 16 日)。12 个单点最大 5 天滑动过程降水总量的区域平均极大值和 12 个单点平均最大 5 天滑动过程降水总量的极大值都发生在 1999 年,前者有 9 个地区发生在 1999 年 6 月 24 日至 30 日期间。后者是逐日 12 个单点平均降水量的最大 5 天滑动过程降水总量的极大值,也在 1999 年 6 月 26 日至 30 日。

长江下游地区最大 5 天滑动过程降水总量的极小值的发生年份相对极大值而言比较集中,南京和景德镇发生在 1952 年 8 月,常州发生在 1958 年 8 月,安庆发生在 1965 年 7 月,上海、修水发生在 1968 年的 5 月,镇江发生在 1968 年 6 月底至 7 月初,芜湖发生在 1978 年 6 月,屯溪发生在 1984 年 6 月,杭州发生在 2006 年 5 月,九江发生在 2007 年 5 月,南昌发生在 2007 年 7 月。单点最大 5 天滑动过程降水总量的极小值年份大多长江下游地区的大旱年。

4.4. 最大 5 天滑动过程降水总量的年际变化统计和特征分析

1951~2014 年 5~8 月长江下游地区单点最大 5 天滑动过程降水总量的区域平均值的年际变化特征如图 5(a)所示,逐日区域平均最大 5 天滑动过程降水总量的年际变化特征如图 4(b)所示。单点最大 5 天滑动过程降水总量(a)的区域平均值的多年平均值是 170 mm,逐日区域平均最大 5 天滑动过程降水总量(b)的多年平均值是 119 mm。两者较常年偏大(正距平)年的气候概率都是 45% (29/64),较常年偏小(负距平)年的气候概率都是 55% (35/64);两者距平趋势一致年的概率为 91% (58/64),两者距平趋势相反年的概率为 9% (6/64)。

单点最大 5 天滑动过程降水总量的区域平均值的年际变化(a)的主要特征是持续性,持续性偏大年有: 1953~1955 (3 年)、1969~1971 (3 年)、1973~1975 (3 年)、1993~1996 (4 年)、1998~1999 (2 年)、2008~2012 (5

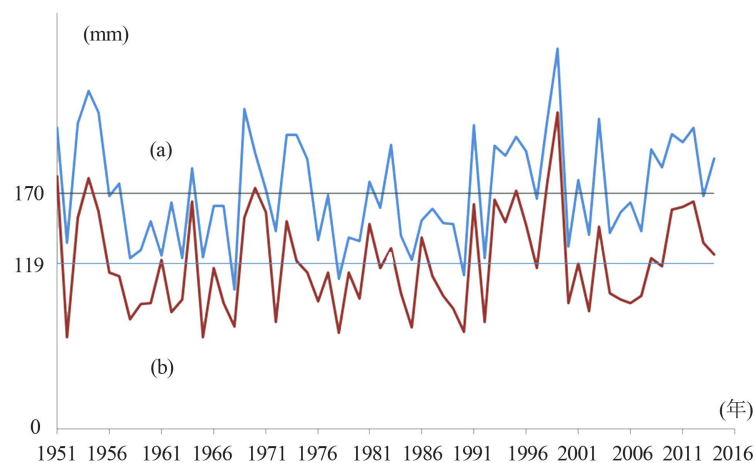


Figure 5. The inter-annual variation of the regional mean of single point-based total precipitation from maximum 5-day moving process (a) and the inter-annual variation of daily regional mean of total precipitation from maximum 5-day moving process (b) in the lower Yangtze River region (12 stations) from May to August between 1951-2014

图 5. 1951~2014 年 5~8 月长江下游地区单点最大 5 天滑动过程降水总量的区域平均值的年际变化特征(a)和逐日区域平均最大 5 天滑动过程降水总量的年际变化特征(b)

年)都是持续性偏大年,持续性偏大年占总偏大年的 69% (20/29),只有 31% (9/29)的偏大年不持续;持续性偏小年有: 1958~1963 (6 年)、1965~1968 (4 年)、1976~1980 (5 年)、1984~1990 (7 年)、2004~2007 (4 年)都是持续性偏小年,持续性偏小年占总偏小年的 74% (26/35),只有 26%(9/35)的偏小年不持续。可见在近 64 年中单点最大 5 天滑动过程降水总量 的区域平均值的距平趋势有持续性的年份的气候概率达到 72% (46/64)。逐日区域平均最大 5 天滑动过程降水总量的年际变化(b)主要特征与(a)基本相似,有持续性的年份的气候概率达到 72% (46/64)。

在 1952~2014 年期间,单点最大 5 天滑动过程降水总量的区域平均值较常年偏大的 28 年中,有 7~10 个单点较常年偏大(大部地区都偏大)的气候概率为 75%(21/28),有 4~6 个单点较常年偏大(近一半地区都偏大)的气候概率为 25% (7/28)。由此可见,在单点最大 5 天滑动过程降水总量的区域平均值较常年偏大的年份,并不是每个地区都偏大,即使大部地区都偏大,出现的日期大多也不相同。例如,长江下游地区单点最大 5 天滑动过程降水总量的区域平均值超过 230 mm 的有 3 年: 1954 年、1969 年、1999 年,最大 5 天滑动过程降水总量的区域平均值分别是 244 mm、231 mm、274 mm。1954 年的 12 个单点都较常年偏大,安庆和修水两地区的最大 5 天降水总量有 355 mm~443 mm; 1969 年的 12 个单点中有 9 个偏大,南京和芜湖两地的 5 天降水总量有 316 mm~416 mm。只有镇江和杭州常年偏小,安庆接近常年,但是最大 5 天降水量的日期不集中; 1999 年除南京和修水较常年偏小外,其他 10 个地区都较常年偏大,最大的地区是安庆和屯溪,两地区的最大 5 天降水总量有 449 mm~454 mm。在 12 个单点中有 11~12 个单点的最大 5 天滑动过程降水总量较常年偏小的年份有 1963 年、1968 年、1978 年、1989 年、1990 年、2000 年。

4.5. 7 天滑动最大过程降水总量的气候分布特征

1951~2014 年长江下游地区(12 站)及其平均的 5~8 月逐日降水量的最大 7 天滑动过程降水总量多年平均值和极大值、极小值及其出现的年月日如表 6 所示。

单点最大 7 天滑动过程降水总量的多年(60 年或 59 年)平均值的空间分布特征是: 安庆、南昌、屯溪、

Table 6. Statistical characteristics of the extremum of total precipitation from maximum 7-day moving process and the inter-annual variation of their occurring dates in the lower Yangtze River region (12 stations) from May to August between 1951-2014

表 6. 在 1951~2014 年期间长江下游地区(12 站)5~8 月最大 7 天滑动过程降水总量的极值及其出现日期的年际变化统计特征

地区名	上海	常州	镇江	南京	芜湖	安庆	屯溪	景德镇	南昌	九江	修水	杭州	最大平均	平均最大
60年均值(mm)	159	164	168	171	183	214	235	239	218	179	196	164	190	140
极大值(mm)	432	392	419	389	508	649	617	565	664	449	465	358	337	320
较常年偏大(%)	172	139	149	127	178	203	163	136	205	151	137	118	77	129
最大出现年份	1999	1991	1970	1969	1953	2010	1999	1955	1973	1999	1983	1999	1999	1999
日期(月.日~月.日)	6.25~7.01	7.01~7.07	7.12~7.18	7.12~7.18	6.22~6.28	7.08~7.14	6.24~6.30	6.17~6.23	6.19~6.25	6.24~6.30	7.05~7.10	6.25~7.01		6.24~6.30
极小值(mm)	64	67	66	64	59	78	106	82	91	61	84	77	116	70
较常年偏小(%)	-60	-59	-61	-63	-68	-64	-55	-66	-58	-66	-57	-53	-39	-50
最小出现年份	1984	1992	1994	1967	1985	1978	1990	1952	2007	2007	1968	1979	1968	1965
日期(月.日~月.日)	7.28~8.01	6.14~6.16	7.16	7.04~7.05	5.03~5.09	5.27~6.02	6.13~6.15	8.25~8.31	7.10~7.16	5.31~6.01	5.22~5.27	8.15~8.18		8.08~8.14
两极值比(倍)	6.8	5.9	6.3	6.1	8.6	8.3	5.8	6.9	7.3	7.4	5.5	4.6	2.9	4.6

景德镇地区有 214~239 mm，修水地区有 196 mm，其余地区只有 159~183 mm。其中景德镇地区最大(239 mm)，上海地区最小(159 mm)。单点最大 7 天滑动过程降水总量极大值的空间分布特征是：最大是南昌有 664 mm，较常年偏大 2.05 倍。次大是安庆有 649 mm，较常年偏大 2.03 倍。第三大是屯溪有 617 mm，较常年偏大 1.63 倍；最小地区是杭州、南京、常州只有 358 mm~392 mm，较常年偏大 1.18 倍至 1.39 倍。12 个单点最大 7 天滑动过程降水总量的极小值只有 59~106 mm，较常年偏小 5.3 成~6.8 成，单点最大 7 天滑动过程降水总量的极小值的最小地区在芜湖(59 mm)，最大地区在屯溪(106 mm)。

芜湖最大 7 天滑动过程降水总量的极大值是极小值的 8.6 倍，安庆的极大值是极小值的 8.3 倍，南昌和九江的极大值是极小值的 7.3 倍至 7.4 倍，其他地区的极大值是极小值的 4.6~6.9 倍。单点最大 7 天滑动过程降水总量的区域平均值的多年平均值是 190 mm，极大值是 337 mm，较常年偏大 7.7 成，极小值是 116 mm，较常年偏小 3.9 成。逐日 12 站点平均最大 7 天滑动过程降水总量的多年平均值是 140 mm，极大值是 320 mm，较常年偏大 1.29 倍，极小值是 70 mm，较常年偏小 5.0 成。上面的统计结果说明长江下游地区最大 7 天滑动过程降水总量的年际变化也是相当大的。

长江下游地区最大 7 天滑动过程降水总量的极大值的发生年份比较分散，芜湖发生在 1953 年(6 月 22 日至 28 日)、修水发生在 1983 年(7 月 5 日至 10 日)、景德镇发生在 1955 年(6 月 17 日至 23 日)、南京发生在 1969 年(7 月 12 日至 18 日)、镇江发生在 1970 年(7 月 12 日至 18 日)、南昌发生在 1973 年(6 月 19 日至 25 日)、常州发生在 1991 年(7 月 1 日至 7 日)、上海发生在 1999 年(6 月 25 日至 7 月 1 日)、安庆发生在 2010 年(7 月 8 日至 14 日)、屯溪发生在 1999 年(6 月 24 日至 30 日)、九江发生在 1999 年(6 月 24 日至 30 日)、杭州发生在 1999 年(6 月 25 日至 7 月 1 日)。12 个单点最大 7 天滑动过程降水总量的区域平均极大值和逐日 12 个单点平均最大 7 天滑动过程降水总量的极大值都发生在 1999 年，前者有 4 个地区发生在 1999 年 6 月 24 日至 7 月 1 日期间。后者是逐日 12 个单点平均的最大 7 天滑动过程降水总量的极大值，也在 1999 年 6 月 24 日至 30 日。

长江下游地区最大 7 天滑动过程降水总量的极小值的发生年份是：景德镇发生在 1952 年 8 月，南京发生在 1967 年 7 月，修水发生在 1968 年 5 月，安庆发生在 1978 年 5 月底至 6 月初，杭州发生在 1979 年 8 月，上海发生在 1984 年的 7 月底至 8 月初，芜湖发生在 1985 年 5 月，屯溪发生在 1990 年 6 月，常州发生在 1992 年 6 月，镇江发生在 1994 年 7 月，南昌发生在 2007 年 7 月，九江发生在 2007 年 5 月底至 6 月初，单点最大 7 天滑动过程降水总量的极小值年份大多是长江下游地区的大旱年。

4.6. 最大 7 天滑动过程降水总量的年际变化统计和特征分析

1951~2014 年 5~8 月长江下游地区单点最大 7 天滑动过程降水总量的区域平均值的年际变化特征如图 6(a)所示，逐日区域平均最大 7 天滑动过程降水总量的年际变化特征如图 5(b)所示。单点最大 7 天滑动过程降水总量(a)的区域平均值的多年平均值是 190 mm，逐日区域平均最大 7 天滑动过程降水总量(b)的多年平均值是 140 mm。前者较常年偏大(正距平)年的气候概率是 42%(27/64)，较常年偏小(负距平)年的气候概率都是 58%(37/64)；后者较常年偏大(正距平)年的气候概率是 48%(31/64)，较常年偏小(负距平)年的气候概率都是 52%(33/64)；两者距平趋势一致年的概率为 88%(56/64)，两者距平趋势相反年的概率为 12%(8/64)。

单点最大 7 天滑动过程降水总量的区域平均值的年际变化(a)的主要特征是持续性，持续性偏大年有：1953~1955(3 年)、1969~1971(3 年)、1973~1975(3 年)、1993~1996(4 年)、1998~1999(2 年)、2008~2012(5 年)都是持续性偏大年，持续性偏大年占总偏大年的 74%(20/27)，只有 26%(7/27)的偏大年不持续；持续性偏小年有：1958~1963(6 年)、1965~1968(4 年)、1976~1982(7 年)、1984~1990(7 年)、2000~2002(3 年)、2004~2007(4 年)都是持续性偏小年，持续性偏小年占总偏小年的 84%(31/37)，只有 16%(6/37)的偏小年不持续。可见在近 64 年中单点最大 7 天滑动过程降水总量的区域平均值的距平趋势有持续性的年份的气候概率达到 80%(51/64)。逐日区域平均最大 7 天滑动过程降水总量的年际变化(b)主要特征与(a)基本相似，有持续性的年份的气候概率达到 75%(48/64)。

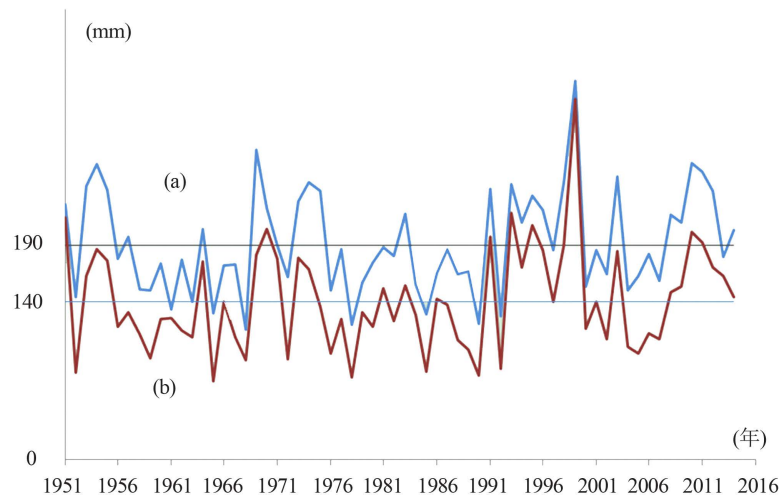


Figure 6. The inter-annual variation of the regional mean of single point-based total precipitation from maximum 7-day moving process (a) and the inter-annual variation of daily regional mean of total precipitation from maximum 7-day moving process (b) in the lower Yangtze River region (12 stations) from May to August between 1951-2014

图 6. 1951~2014 年 5~8 月长江下游地区单点 7 天滑动最大过程降水总量的区域平均值的年际变化特征(a)和逐日区域平均 7 天滑动最大过程降水总量的年际变化特征(b)

在 1952~2014 年期间,单点最大 7 天滑动过程降水总量的区域平均值较常年偏大的 26 年中,有 7~10 个单点较常年偏大(大部地区都偏大)的气候概率为 65% (17/26),有 3~6 个单点较常年偏大(近一半地区都偏大)的气候概率为 35% (9/26)。由此可见,在单点最大 7 天滑动过程降水总量的区域平均值较常年偏大的年份,每年都有大部地区或者接近半数以上的单点最大 7 天滑动过程降水总量较常年偏大。例如,长江下游地区单点最大 7 天滑动过程降水总量的区域平均值超过 250 mm 的有 6 年:1954 年、1969 年、1999 年、2003 年、2010 年、2011 年,最大 7 天滑动过程降水总量的区域平均值分别是 262 mm、276 mm、337 mm、252 mm、263 mm、256 mm,这 6 年除了 2003 年(有 8 个单点较常年偏大)外,都有 10~11 个单点较常年偏大。1954 年安庆和修水两地区最大 7 天降水总量有 358 mm~452 mm;1969 年的景德镇和芜湖两地的最大 7 天降水总量有 424 mm~436 mm;1999 年上海、九江、安庆、屯溪最大 7 天降水总量有 432 mm~617 mm;2003 年景德镇和南昌两地的最大 7 天降水总量有 448 mm~467 mm;2010 年景德镇和安庆两地的最大 7 天降水总量有 468 mm~649 mm;2011 年常州、景德镇、屯溪三地最大 7 天降水总量有 323 mm~508 mm。在 12 个单点中有 11~12 个单点的最大 7 天滑动过程降水总量较常年偏小的年份有 1961 年、1963 年、1968 年、1978 年、1990 年、1992 年、2000 年。

4.7.9 天滑动最大过程降水总量的气候分布特征

1951~2014 年长江下游地区(12 站)及其平均的 5~8 月逐日降水量的最大 9 天滑动过程降水总量多年平均值和极大值、极小值及其出现的年月日如表 7 所示。

单点最大 9 天滑动过程降水总量的多年(60 年或 59 年)平均值的空间分布特征是:芜湖、修水、安庆、南昌、屯溪、景德镇地区有 200~263 mm,其余地区只有 170~197 mm。其中景德镇地区最大(263 mm),上海地区最小(170 mm)。单点最大 9 天滑动过程降水总量极大值的空间分布特征是:安庆、屯溪、景德镇、南昌有 659b mm~691 mm,较常年偏大 1.56 倍至 1.90 倍。芜湖和九江有 509 mm~517 mm,较常年偏大 1.55 倍至 1.62 倍。其余地区有 413 mm~492 mm,较常年偏大 1.17 倍至 1.89 倍。12 个单点最大 9 天滑动过程降水总量的极小值只有 59~117 mm,较常年偏小 4.9 成~7.1 成,单点最大 7 天滑动过程降水

Table 7. Statistical characteristics of the extremum of total precipitation from maximum 9-day moving process and the inter-annual variation of their occurring dates in the lower Yangtze River region (12 stations) from May to August between 1951-2014

表 7. 在 1951~2014 年期间长江下游地区(12 站)5~8 月最大 9 天滑动过程降水总量的极值及其出现日期的年际变化统计特征

地区名	上海	常州	镇江	南京	芜湖	安庆	屯溪	景德镇	南昌	九江	修水	杭州	最大平均	平均最大
60年均值(mm)	170	181	184	192	200	235	260	263	238	197	218	172	209	162
极大值(mm)	492	424	426	413	509	659	665	688	691	517	489	413	388	369
较常年偏大(%)	189	134	132	117	155	180	156	162	190	162	124	140	86	128
最大出现年份	1999	1991	1970	1991	1953	2010	1999	1974	1973	1999	1983	1999	1999	1999
日期(月.日~月.日)	6.24~7.02	6.30~7.08	7.12~7.20	7.03~7.11	6.20~6.28	7.08~7.16	6.23~7.01	7.10~7.18	6.17~6.25	6.23~7.01	7.05~7.13	6.24~7.01		6.23~7.01
极小值(mm)	64	70	66	72	59	78	117	105	91	81	106	87	122	73
较常年偏小(%)	-62	-61	-64	-63	-71	-67	-55	-60	-62	-55	-51	-49	-42	-55
最小出现年份	1984	1958	1994	1994	1985	1978	1978	1952	2007	1985	2009	1979	1978	1965
日期(月.日~月.日)	7.28~8.01	8.10~8.16	7.16	8.23~27	5.03~5.09	5.27~6.02	5.03~5.10	8.23~8.31	7.10~7.16	7.04~7.05	6.02~6.10	8.15~8.23		6.30~7.08
两极值比(倍)	7.7	6.1	6.5	5.7	8.6	8.4	5.7	6.6	7.6	6.4	4.6	4.7	3.2	5.1

总量的极小值的最小地区在芜湖(59 mm)，最大地区在屯溪(117 mm)。

安庆和芜湖最大 9 天滑动过程降水总量的极大值分别是极小值的 8.4 倍至 8.6 倍，上海和南昌最大 9 天滑动过程降水总量的极大值分别是极小值的 7.6 倍至 7.7 倍，其他地区的极大值是极小值的 4.6~6.6 倍。

单点最大 9 天滑动过程降水总量的区域平均值的多年平均值是 209 mm，极大值是 388 mm，较常年偏大 8.6 成，极小值是 122 mm，较常年偏小 4.2 成。逐日 12 站点平均最大 9 天滑动过程降水总量的多年平均值是 162 mm，极大值是 369 mm，较常年偏大 1.28 倍，极小值是 73 mm，较常年偏小 5.5 成。上面的统计结果说明长江下游地区最大 9 天滑动过程降水总量的年际变化也是相当大的。

长江下游地区最大 9 天滑动过程降水总量的极大值的发生年份比较分散，芜湖(509 mm)发生在 1953 年(6 月 20 日至 28 日)、镇江(426 mm)发生在 1970 年(7 月 12 日至 20 日)、南昌(691 mm)发生在 1973 年(6 月 17 日至 25 日)、景德镇(688 mm)发生在 1974 年(7 月 10 日至 18 日)、修水(489 mm)发生在 1983 年(7 月 5 日至 13 日)、常州(424 mm)发生在 1991 年(6 月 30 日至 7 月 8 日)、南京(413 mm)发生在 1991 年(7 月 3 日至 11 日)、上海(492 mm)发生在 1999(6 月 24 日至 7 月 2 日)、屯溪(665 mm)和九江(517 mm)发生在 1999 年(6 月 23 日至 7 月 1 日)、杭州(413 mm)发生在 1999 年(6 月 23 日至 7 月 1 日)。12 个单点最大 9 天滑动过程降水总量的区域平均极大值和逐日 12 个单点平均最大 9 天滑动过程降水总量的极大值都发生在 1999 年，前者有 4 个地区发生在 1999 年 6 月 23 日至 7 月 2 日期间。后者是逐日 12 个单点平均的最大 9 天滑动过程降水总量的极大值，也在 1999 年 6 月 23 日至 7 月 1 日。

长江下游地区最大 9 天滑动过程降水总量的极小值的发生年份和时段是：景德镇(105 mm)发生在 1952 年 8 月 23 日至 31 日，常州(70 mm)发生在 1958 年 8 月 10 日至 16 日，屯溪(117 mm)发生在 1978 年 5 月 3 日至 10 日，安庆(78 mm)发生在 1978 年 5 月 27 日 6 月 2 日，杭州(87 mm)发生在 1979 年 8 月 15 日至 23 日，上海(64 mm)发生在 1984 年的 7 月 28 日至 8 月 1 日，芜湖(59 mm)发生在 1985 年 5 月 3 日至 9 日，镇江(66 mm)发生在 1994 年 7 月 16 日，南京(72 mm)发生在 1994 年 8 月 23 日至 27 日，南昌(91 mm)发生在 2007 年 7 月 10 日至 16 日，九江(81 mm)发生在 2007 年 5 月 24 日至 6 月 1 日，修水(106 mm)发生在 2009 年 6 月 2 日至 10 日。单点最大 9 天滑动过程降水总量的极小值年份大多是长江下游地区的大旱年。

4.8. 最大 9 天滑动过程降水总量的年际变化统计和特征分析

在 1952~2014 年期间，单点最大 9 天滑动过程降水总量的区域平均值较常年偏大的 28 年中，有 7~11 个单点较常年偏大(大部地区都偏大)的气候概率为 50%(14/28)，有 5~6 个单点较常年偏大(近一半地区都偏大)的气候概率为 43%(12/28)。由此可见，在单点最大 9 天滑动过程降水总量的区域平均值较常年偏大的年份，有大部地区或者接近半数以上的单点最大 9 天滑动过程降水总量较常年偏大的气候概率是 93%(26/28)。例如，长江下游地区单点最大 9 天滑动过程降水总量的区域平均值超过 280 mm 的有 5 年：1954 年、1969 年、1999 年、2010 年、2011 年，最大 9 天滑动过程降水总量的区域平均值分别是 281 mm、310 mm、388 mm、281 mm、291 mm，这 5 年都有 10~11 个单点较常年偏大。1954 年修水地区最大 9 天降水总量有 461 mm；1969 年的南京、芜湖和景德镇三地的最大 9 天降水总量有 412 mm~456 mm；1999 年安庆、屯溪最大 9 天降水总量有 607 mm~665 mm；2010 年景德镇和安庆两地的最大 9 天降水总量有 522 mm~659 mm；2011 年屯溪最大 9 天降水总量有 521 mm。在 12 个单点中有 11~12 个单点的最大 9 天滑动过程降水总量较常年偏小的年份有 1958 年、1963 年、1965 年、1968 年、1978 年、1985 年、1990 年、1992 年、2000 年。这些年份都是长江下游地区的空梅(雨)年和很少梅(雨)年。

单点最大 9 天滑动过程降水总量的区域平均值的年际变化(a)的主要特征是持续性，持续性偏大年有：1953~1957(5 年)、1969~1971(3 年)、1973~1975(3 年)、1993~1996(4 年)、1998~1999(2 年)、2008~2012(5 年)都是持续性偏大年，持续性偏大年占总偏大年的 76%(22/29)，只有 24%(7/29)的偏大年不持续；持

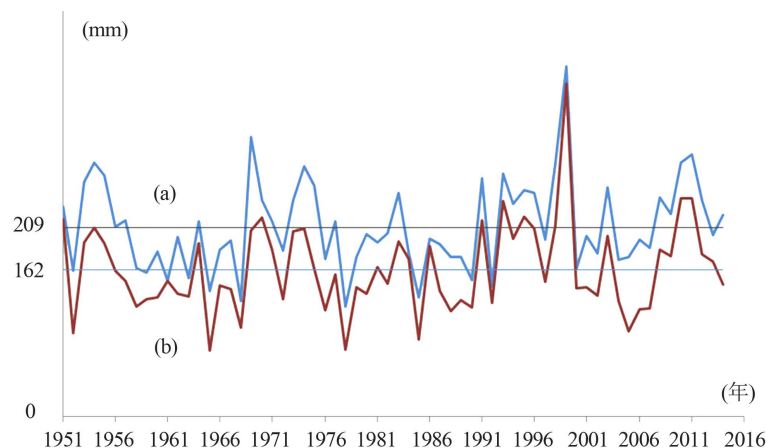


Figure 7. The inter-annual variation of the regional mean of single point-based total precipitation from maximum 9-day moving process (a) and the inter-annual variation of daily regional mean of total precipitation from maximum 9-day moving process (b) in the lower Yangtze River region (12 stations) from May to August between 1951-2014

图 7. 1951~2014 年 5~8 月长江下游地区单点 9 天滑动最大过程降水总量的区域平均值的年际变化特征(a)和逐日区域平均 9 天滑动最大过程降水总量的年际变化特征(b)

续性偏小年有：1958~1963 (6 年)、1965~1968 (4 年)、1978~1982 (5 年)、1984~1990 (7 年)、2000~2002 (3 年)、2004~2007 (4 年)都是持续性偏小年，持续性偏小年占总偏小年的 83% (29/35)，只有 17% (6/35)的偏小年不持续。可见在近 64 年中单点最大 9 天滑动过程降水总量的区域平均值的距平趋势有持续性的年份的气候概率达到 80% (51/64)。逐日区域平均最大 9 天滑动过程降水总量的年际变化(b)主要特征与(a)基本相似，有持续性的年份的气候概率达到 80% (51/64)(图 7)。

参考文献 (References)

- [1] 张家诚 (1988) 气候与人类. 河南科学技术出版社, 郑州.
- [2] 陈菊英 (1991) 中国旱涝的分析和长期预报研究. 农业出版社, 北京.
- [3] 陈菊英, 沈愈 (1996) 未来 50 年中国区域旱涝预测物理方法和结果. 气象出版社, 北京, 68-75.
- [4] 叶笃正, 黄荣辉 (1996) 长江黄河流域旱涝规律和成因研究. 山东科学出版社, 济南.
- [5] 陆渝蓉 (1999) 地球水环境学. 南京大学出版社, 南京.
- [6] 陈菊英, 王玉红 (2000) 1951-2000 年长江黄淮海河流域旱涝的时空变化规律研究. 水科学进展, **11**, 87-97.
- [7] 水利部长江水利委员会 (2002) 长江流域水旱灾害. 中国水利水电出版社, 北京.
- [8] 冷春香, 陈菊英 (2005) 近 50 年来中国汛期暴雨旱涝的分布特征及其成因. 自然灾害学报, **14**, 1-9.
- [9] 陈菊英, 程华琼, 王威 (2007) 中国异常增暖来年江淮流域易发生大洪水. 地球物理学进展, **22**, 1380-1385.
- [10] 陶诗言 (1980) 中国之暴雨. 科学出版社, 北京.
- [11] 丁一汇等 (1993) 1991 年江淮流域持续性特大暴雨的研究. 气象出版社, 北京.
- [12] 陈菊英, 许晨海, 刘海波 (2000) 1998 年长江特大洪水及其形成原因研究. 中国民族大学学报(自然科学版), **9**, 134-143.
- [13] 陈菊英 (2010) 长江流域强降水过程对乌高及副高逐日变化的响应关系, 见: 陈菊英. 2010. 中国旱涝的机理分析和长期预报技术研究. 气象出版社, 北京, 24-42.

汉斯出版社为全球科研工作者搭建开放的网络学术中文交流平台。自2011年创办以来，汉斯一直保持着稳健快速发展。随着国内外知名高校学者的陆续加入，汉斯电子期刊已被450多所大中华地区高校图书馆的电子资源采用，并被中国知网全文收录，被学术界广为认同。

汉斯出版社是国内开源（Open Access）电子期刊模式的先行者，其创办的所有期刊全部开放阅读，即读者可以通过互联网免费获取期刊内容，在非商业性使用的前提下，读者不支付任何费用就可引用、复制、传播期刊的部分或全部内容。

