

基于中国气候变化区划的1951—2010年暴雨统计分析

孔锋^{1,2,3}, 吕丽莉^{1,2}, 方建⁶, 方佳毅^{3,4,5}, 王一飞¹, 刘凡^{3,4,5}, 应卓容^{3,4,5}

(1. 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081; 2. 中国气象局发展研究中心, 北京 100081; 3. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 4. 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875; 5. 民政部/教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875; 6. 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079)

摘要:采用659个气象观测站日值降水数据计算了中国年际和年代际暴雨雨量和暴雨雨日,然后基于中国气候变化区划(1961—2010年)对中国暴雨进行了分区统计。结果表明:在中国气候变化区划降水呈增加和减少的区域,绝大多数的暴雨呈现相应的年际和年代际的增加和减少趋势。但也有在降水趋势减少的Ⅰ₁东北—华北暖干趋势带的小兴安岭—长白山—三江平原气温波动增强、降水量波动减弱区和Ⅲ₃西南—华南干暖趋势带的云贵高原—南岭西部山地丘陵降水量波动增强、气温波动增强区两个二级气候变化分区,暴雨呈现增加趋势;反之在降水趋势增加的Ⅳ₁藏东南—西南温暖趋势带的藏东南山地—高原降水量波动增强、气温波动增强区,暴雨呈现减少趋势。进一步对暴雨分为短历时的对流型暴雨和长历时的过程型暴雨也有类似的结论。说明现有的一级和二级气候变化区划在一定程度上可以反映暴雨的变化,但仍需要深入采用以极端降水为指标的三级区划对暴雨变化进行研究。

关键词:气候变化区划; 年际和年代际; 暴雨; 时空变化; 中国

中图分类号: P333.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)05-0189-08

Statistical Analysis of Heavy Rainfall Based on China's Climate Change Regionalization from 1951 to 2010

KONG Feng^{1,2,3}, LÜ Lili¹, FANG Jian⁶, FANG Jiayi^{3,4,5},
WANG Yifei¹, LIU Fan^{3,4,5}, YING Zhuorong^{3,4,5}

(1. China Meteorological Administration Training Center, Beijing 100081, China; 2. Research Centre for Strategic Development, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 3. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 4. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education, Beijing 100875, China; 5. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education of China, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 6. School of Resource and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: Daily precipitation data from 659 meteorological observation stations were used to calculate the interannual and decadal heavy rainfall and heavy rainfall days in China. Then, based on China's climate change regionalization (1961—2010), heavy rainfall in China was analyzed. The results show that in the increasing and decreasing trend of total precipitation fall in the region climate change regionalization in China, most of the heavy rainfall rendered the corresponding interannual and decadal increasing and decreasing trend. But there are also decreasing trend in total precipitation in Ⅰ₁ temperature fluctuation increasing, precipitation fluctuation decreasing of Xiaoxinganling—Changbaishan Mountain—Sanjiang Plain of Northeast China—North China warm-dry trend zone and Ⅲ₃ temperature fluctuation increasing, precipitation fluctuation increasing of Yunnan—Guizhou Plateau—Western Nanling Mountain—Hills of Southwest China—South China dry-warm trend zone and, whereas heavy rainfall shows increasing trend; on the contrary increasing trend in total precipitation fall in Ⅳ₁ temperature fluctuation increasing, precipitation fluctuation increasing of Southeast Tibet Mountain—Plateau of Southeast Tibet—Southwest China wet-warm trend zone, whereas heavy rainfall shows decreasing trend. The similar conclusions can be drawn under the short duration and long duration of heavy rainfall. It shows that the existing primary and secondary climate change regionalization (1961—2010)

reflect the changes of heavy rainfall to a certain extent. But it still need to use extreme precipitation as an indicator of the three divisions of the China's climate change regionalization (1961—2010) to analyze the heavy rainfall in China.

Keywords: climate change regionalization; annual and decadal variation; heavy rainfall; spatial and temporal pattern; global scale

全球气候变化背景下频发的极端强降水事件导致多地城市受淹,带来严重的人员伤亡、财产损毁和生态系统破坏,在经济社会发展、生命安全和生态系统等诸多方面造成了巨大的危害,对灾区可持续发展带来深远影响,并成为全球和区域灾害与环境风险的重要因素,越来越受到学术与社会各界的关注^[1-3]。

在暴雨研究方面,目前国内外观测研究结果认为,全球变暖使得地表蒸发加剧,导致大气保水能力增加,全球和区域水循环加快,势必造成部分地区降水增多^[4-7],其中对流性降水的增多大于层状降水^[8]。自1950年以来的观测证据表明,在全球尺度上,极端强降水事件数量显著增加的区域可能多于显著减少的区域^[9]。IPCC第五次报告中指出,当温室气体CO₂加倍时,极端强降水显著增加,其幅度远大于平均强度的降水^[6]。在气候变化背景下,中国全国尺度上的总降水量变化趋势不明显,但暴雨强度在增强^[10-12],遭受异常强降水事件的地区也在增加^[13-14];但中国的不同区域上却表现出显著的区域差异^[10,11,14],因此,需要寻找一个合理的分区来对暴雨错综复杂的时空特征进行深入研究。已有的研究结果表明,不断变化的气候可导致极端天气和气候事件在频率、强度、空间范围、持续时间和发生时间上的变化,并能够导致前所未有的极端天气和气候事件;具有高信度的是,与天气和气候灾害有关的经济损失已经增加^[4-6]。因此,在做暴雨研究时,需要充分考虑气候变化对不同区域的暴雨影响。目前,全球范围内已有很多气候区划方面研究工作,但其核心都是气候状态区划,而不是气候变化区划。在气候变化速率不断加快的今天,已有的气候区划并不能表达气候变化的区域差异。《中国气候变化区划(1961—2010)》一文中针对气候变化的本质,建立了一套能够诊断气候变化及其影响的区域差异的分类方法,即根据气候变化的变化趋势(上升/下降/无明显变化趋势)和波动特征(增强/减弱/无明显波动特征)可以将气候变化分为9种模态。以此9种模态作为中国气候变化区划的基础,将中国分为5个一级变化趋势带和14个二级波动特征区^[15]。

由于不同区域具有不同气候变化类型,不同的气候变化类型下暴雨变化可能较以往的对一个行政区域或地理区域的变化会有不同。一个行政区域或地

理区域可能包含多种气候变化的类型,整体对一个行政区域或地理区域进行研究可能会弱化暴雨研究中的一些信号,进而不能正确反映不同气候变化区暴雨的时空格局。因此,我们亟需在气候变化区划下,分区域深入研究在气候变化的背景下暴雨时空格局变化。从而有利于因地制宜地为中国极端降水变化风险防范提出合理的适应性对策。

1 数据和方法

1.1 数据来源

本文采用的气象站点数据来自中国气象科学数据共享服务网地面气象资料数据库(<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>),其中,包括中国地面气候资料日值数据集(756个基本、基准地面气象观测站)、中国地面国际交换站的气候资料日值数据集(194个基本、基准地面气象观测站)、中国地面气候资料日值数据集(V3.0)(824个基本、基准地面气象观测站)和中国地面定时报(2 514个中国地面气象观测站)等日值降水数据集。本文以“中国地面气候资料日值数据集”中的756个站的日值降水数据为基准,对相关数据进行校验,对于其中缺失的数据,利用上述其他数据集中同站点同日期的替代,或利用缺失站点的相邻前后年份相加后的均值补缺该日值。以上校核完成之后,根据尽量保留最多站点并保证观测时间连续的原则,参考已有的研究成果^[11,14],如果站点日值缺测率超过50 a日值总数的5%,则剔除该站点;站点日值缺测率小于50 a日值总数的5%,利用临近站点相同时段补缺或利用本站点的年代际该日值均值补缺本站点的缺测日值,最后得到可用的659个降水观测站点,如图1中分布所示。

本文采用的中国气候变化区划(1961—2010)分区数据来自北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室(<http://www.espre.cn>),其区划分区和各区特征分别如图2和表1所示^[15]。从分区的站点数比例来看,绝大多数的分区占总站点数的百分比相对均匀,尤其从各分区单位面积占有的站点数来看,最大的是I₄(黄土高原—汾河谷地),占1.47个,最小的是IV₁(藏东南山地—高原),占0.49,绝大多数的分区站有站点数相对均匀,大致占有0.80个站点。因此,整体来看,站点数量在各分区具有面代表性。

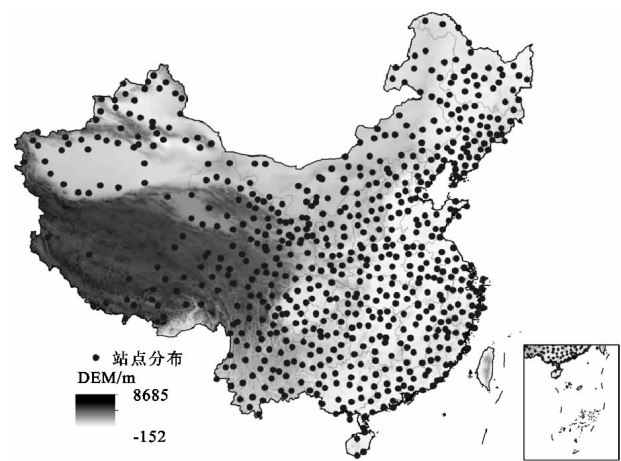


图 1 中国气象站点分布和数字高程



图 2 1961—2010 年中国气候变化区划

表 1 中国气候变化区划 1961—2010 年分区特征

变化趋势带	波动特征区	面积/ 万 km ²	县级行政 单元/个	暴雨趋势		站点数	占总站点 百分比	单位分区面积 占有站点数目	水灾发生 频次
				雨量	雨日				
东北—华北暖干趋势带 I ₁	小兴安岭—长白山—三江平原	52.9	110	增加	增加	40	6.07%	0.76	360
	气温波动增强、降水量波动减弱区								
	I ₂ 大兴安岭—辽西山地—科尔沁沙地	97.2	226	减少	减少	82	12.44%	0.84	327
	气温波动减弱、降水量波动增强区								
I ₃	华北山地—平原—山东半岛	35.8	224	减少	减少	30	4.55%	0.84	187
	气温波动减弱、降水量波动减弱区								
I ₄	黄土高原—汾河谷地	31.2	170	减少	减少	46	6.98%	1.47	256
	气温波动增强、降水量波动减弱区								
II	II ₁ 淮河流域—长江下游平原	36.5	257	增加	增加	41	6.22%	1.12	408
	气温波动减弱、降水量波动增强区								
华东—华中 湿暖趋势带	II ₂ 长江下游沿江平原—浙江—赣北—湘东	51.0	284	增加	增加	61	9.26%	1.20	395
	降水量波动增强、气温波动减弱区								
II ₃	南岭东部丘陵山地	45.0	223	增加	增加	48	7.28%	1.07	512
	气温波动减弱、降水量波动减弱区								
III	III ₁ 秦岭西部山地—四川盆地	40.2	182	减少	减少	39	5.92%	0.97	667
	气温波动增强、降水量波动减弱区								
西南—华南 干暖趋势带	III ₂ 秦岭东部—鄂西山地	24.5	120	减少	减少	30	4.55%	1.22	142
	气温波动增强、降水量波动减弱区								
III ₃	云贵高原—南岭西部山地丘陵	67.1	247	增加	增加	59	8.95%	0.88	491
	降水量波动增强、气温波动增强区								
IV	IV ₁ 藏东南山地—高原	54.4	65	减少	减少	27	4.10%	0.50	64
	降水量波动增强、气温波动增强区								
藏东南—西南 湿暖趋势带	IV ₂ 横断山区山地岭谷	25.3	71	增加	增加	28	4.25%	1.11	138
	降水量波动增强、气温波动增强区								
V	V ₁ 新疆山地—祁连山—内蒙古高原	242.4	147	增加	增加	100	15.17%	0.41	337
	气温波动减弱、降水量波动增强区								
西北—青藏高原 暖湿趋势带	V ₂ 青藏高原	111.7	45	增加	增加	28	4.25%	0.25	35
	气温波动增强、降水量波动增强区								

1.2 计算方法

根据中国国家统计局和中国气象台对暴雨标准的定义,如果一天内的累积降水量达到 50 mm 则为一个暴雨雨日;当暴雨雨日发生时,该暴雨雨日内累积的雨量为暴雨雨量。对流型暴雨和过程型暴雨的定义如下:仅持续一天的短历时暴雨定义为对流型

暴雨;连续至少两天的长历时暴雨定义为过程型暴雨。由于中国气候变化区划(1961—2010)各分区内的气象台站数目不一致,为了便于比较各个分区暴雨雨量和暴雨雨日年际和年代际的变化,本文首先累加了各个分区内各个气象台站的年际和年代际暴雨雨量和暴雨雨日的总和,然后除以对应分区内气象台站

的数目,这样就得到了各个分区内平均每个台站的暴雨雨量和暴雨雨日,即分别分区计算 1961—2010 年各个分区平均单个站点的年际和年代际暴雨雨量和暴雨雨日总和,并对对流型暴雨和过程型暴雨的暴雨雨量和暴雨雨日也进行分区统计。对于年代际暴雨雨量和暴雨雨日则主要计算 1961—1970 年、1971—1980 年、1981—1990 年、1991—2000 年、2001—2010 年 5 个年代内每个分区平均单站的暴雨雨量和暴雨雨日的总和,具体详见文献[14]。值得注意的是文献[14]没有明确中国年代际暴雨时空变化格局系中国年代际累积暴雨时空变化格局。

2 结果与分析

2.1 中国整体暴雨分区统计

从暴雨总量分布来看,在平均单站暴雨雨量方面,从一级气候变化区划分区来看,年际和年代际的平均单站暴雨雨量从大到小依次是Ⅱ华东—华中温暖趋势带、Ⅲ西南—华南干暖趋势带、Ⅰ东北—华北暖干趋势带、Ⅳ藏东南—西南温暖趋势带和Ⅴ西北—青藏高原暖湿趋势带(图3),且Ⅱ华东—华中温暖趋势带和Ⅲ西南—华南干暖趋势带分区的超过 6 000 mm 的站点数目占全国总站点数目的比例在增加(表2),暴雨雨量的分级参考《中国年代际暴雨时空变化格局》^[14]一文中的划分标准。从二级气候变化区划分区来看,年际和年代际平均单站暴雨雨量最高的且排在前三位的依次是Ⅱ₃南岭东部丘陵山地区气温波动减弱、降水量波动减弱区、Ⅱ₂长江下游沿江平原—浙江—赣北—湘东降水量波动增强、气温波动减弱区和Ⅲ₃云贵高原—南岭西部山地丘陵降水量波动增强、气温波动增强区,从地理位置来看,这三个二级气候变化区划分区主要分布在中国长江以南的广大地区,这里也是中国年降水量最为集中的地区;年际和年代际平均单站暴雨雨量最低的且排在前三位的是Ⅴ₂青藏高原气温波动增强、降水量波动增强区、Ⅴ₁新疆山地—祁连山—内蒙古高原气温波动减弱、降水量波动增强区和Ⅳ₁藏东南山地—高原降水量波动增强、气温波动增强区;从地理位置来看,这三个二级气候变化区划分区主要分布在中国的西部地区,从行政区划上来看,主要分布在新疆和西藏全境及内蒙古和甘肃的部分地区,这里是身处中国内陆腹地,水汽来源相比Ⅱ₃南岭东部丘陵山地区气温波动减弱、降水量波动减弱区、Ⅱ₂长江下游沿江平原—浙江—赣北—湘东降水量波动增强、气温波动减弱区和Ⅲ₃云贵高原—南岭西部山地丘陵降水量波动增强、气温波动增强区十分缺乏。

在平均单站暴雨雨日方面,平均单站暴雨雨日与平均单站暴雨雨量具有类似的空间分布规律(图4),且在Ⅱ华东—华中温暖趋势带和Ⅲ西南—华南干暖趋势带分区年代际暴雨雨日超过 60 d 的站点数目占全国总站点数目的比例在增加(表3)。

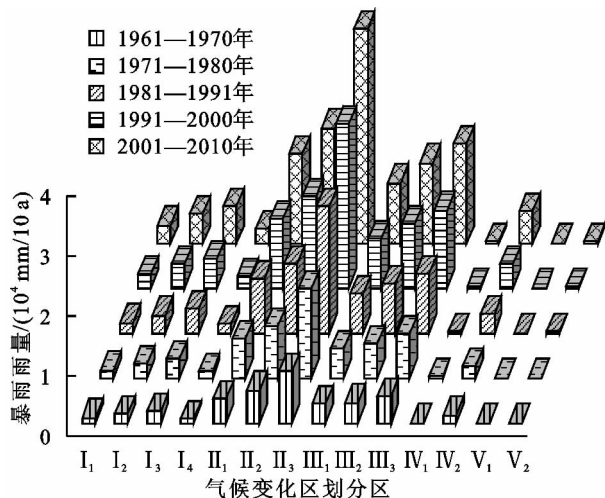


图3 基于中国气候变化区划的14个二级分区的平均单站的暴雨雨量分区统计

从暴雨变化趋势来看,在平均单站暴雨雨量方面:全国14个二级气候变化区划分区中总共有8个呈现增加趋势,覆盖1384个县级行政单位,631.9万 km²,占全国总面积的69.04%;6个二级气候变化区划分区呈现减少趋势,覆盖987个县级行政单位,283.3万 km²,占全国总面积的30.96%。

根据中国气候变化区划(1961—2010)的一级分区结果(表1)可知,Ⅱ华东—华中温暖趋势带、Ⅳ藏东南—西南温暖趋势带和Ⅴ西北—青藏高原暖湿趋势带三个一级分区是降水呈现增加趋势的分区;Ⅰ东北—华北暖干趋势带和Ⅲ西南—华南干暖趋势带两个一级分区是降水呈现减少趋势的分区。但是在降水趋势增加的二级气候变化分区Ⅳ₁藏东南山地—高原降水量波动增强、气温波动增强区,平均单站暴雨雨量呈现减少趋势;在降水趋势减少的Ⅰ₁小兴安岭—长白山—三江平原气温波动增强、降水量波动减弱区和Ⅲ₃云贵高原—南岭西部山地丘陵降水量波动增强、气温波动增强区两个二级气候变化分区,平均单站暴雨雨量呈现增加趋势。在平均单站暴雨雨日方面:平均单站暴雨雨日的变化与平均单站暴雨雨量具有类似的空间分布规律。

以上分析表明现有的气候变化区划只能在一定程度上解释中国暴雨变化规律,而不能全面包含暴雨的时空变化特征,这可能是由于现有的气候变化区是气候的趋势变化和波动变化的体现,但没有完全包含

极端事件的变化。虽然波动变化中可能包含了部分极端事件的变化,但是极端事件变化却不能完全包含于波动变化之中。这也表明气候变化的研究应该包

含气候要素的变化趋势、波动变化和极端事件三方面。只有从这三方面系统深入开展研究,才能全面了解气候要素的变化特征。

表 2 基于中国气候变化区划的 14 个二级分区的年代际暴雨雨量的站点数百分比变化 %

年代	暴雨雨量(mm/10 a)	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	Ⅱ ₁	Ⅱ ₂	Ⅱ ₃	Ⅲ ₁	Ⅲ ₂	Ⅲ ₃	Ⅳ ₁	Ⅳ ₂	V ₁	V ₂
1961—1970	<5000	6.1	12.1	4.4	5.5	4.7	4.9	2.1	5.3	3.9	7.4	4.1	3.6	15.5	3.3
	5000~6000	6.1	11.1	3.6	5.5	1.8	0.3	0.2	3.6	3.0	3.3	4.1	3.2	15.5	3.3
	6000~7000	5.8	9.1	3.2	5.5	0.2	0.0	0.0	2.9	1.5	2.3	4.1	2.9	15.5	3.3
	7000~8000	5.8	8.2	2.7	5.3	0.2	0.0	0.0	2.9	1.2	1.5	4.1	2.3	15.2	3.3
	>8000	5.6	7.7	2.4	5.2	0.2	0.0	0.0	2.9	0.9	1.2	4.1	1.8	15.2	3.3
1971—1980	<5000	0.0	0.2	0.2	0.0	0.9	1.2	0.8	1.1	0.5	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	5000~6000	0.0	0.9	0.2	0.0	1.1	1.7	0.0	0.5	0.5	1.5	0.0	0.5	0.0	0.0
	6000~7000	0.2	1.4	0.3	0.0	0.5	0.0	0.0	0.6	1.1	0.5	0.0	0.3	0.0	0.0
	7000~8000	0.0	0.5	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.6	0.0	0.5	0.0	0.0
	>8000	0.2	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3	0.0	0.6	0.0	0.0
1981—1990	<5000	0.0	0.2	0.0	0.0	0.3	0.8	1.1	0.3	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
	5000~6000	0.0	0.2	0.3	0.0	1.5	2.0	0.9	0.9	0.3	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	6000~7000	0.0	1.1	0.2	0.0	0.9	0.3	0.0	0.2	0.3	1.1	0.0	0.2	0.0	0.0
	7000~8000	0.2	1.2	0.6	0.0	0.2	0.0	0.0	0.5	0.6	0.5	0.0	0.3	0.0	0.0
	>8000	0.0	0.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1991—2000	<5000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.6	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	5000~6000	0.0	0.2	0.3	0.0	0.8	1.2	1.1	1.1	0.2	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0
	6000~7000	0.2	0.3	0.3	0.0	1.1	0.8	0.3	0.3	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
	7000~8000	0.0	0.9	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.2	0.6	0.6	0.0	0.2	0.0	0.0
	>8000	0.0	0.5	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.8	0.0	0.3	0.0	0.0
2001—2010	<5000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.2	2.7	0.5	0.3	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
	5000~6000	0.0	0.2	0.2	0.0	1.1	4.1	5.2	1.1	0.9	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	6000~7000	0.0	0.6	0.6	0.0	3.6	8.2	7.0	3.2	1.5	5.6	0.0	0.3	0.0	0.0
	7000~8000	0.2	1.7	1.1	0.0	5.6	9.3	7.3	3.5	2.1	7.0	0.0	0.5	0.0	0.0
	>8000	0.3	3.2	1.4	0.0	6.1	9.3	7.3	3.8	3.3	7.6	0.0	0.9	0.0	0.0

2.2 对流型和过程型暴雨的分区统计

在《中国年代际暴雨时空变化格局》中计算暴雨雨量和暴雨雨日的变化,但是没有划分出短历时暴雨和长历时暴雨的变化。本文利用计算方法中的划分标准将暴雨划分为对流型暴雨和过程型暴雨。

从全国整体来看,在暴雨雨量方面,对流型暴雨雨量占总暴雨雨量的比例达 80% 以上。同时,对流型暴雨雨量和过程型暴雨雨量都呈现增加的趋势(图 4),但对流型暴雨雨量增加更显著,且年际变化幅度小,波动小;过程型暴雨雨量增加不如对流型暴雨雨量明显,且年际变化幅度大,波动大。在暴雨雨日方面,对流型暴雨雨日和过程型暴雨雨日与对流型暴雨雨量和过程型暴雨雨量具有类似的规律(图 5)。

从气候变化区划分区上来看,在平均单站对流型暴雨雨量方面,从一级气候变化区划分区来看,年代际的平均单站对流型暴雨雨量从大到小依次是Ⅱ华东—华中温暖趋势带、Ⅲ西南—华南干暖趋势带、

I 东北—华北暖干趋势带、Ⅳ藏东南—西南温暖趋势带和 V 西北—青藏高原暖湿趋势带(图 6)。从二级气候变化区划分区来看,年代际平均单站对流型暴雨雨量最高的且排在前三位的依次是Ⅱ₃ 南岭东部丘陵山地气温波动减弱、降水量波动减弱区、Ⅱ₂ 长江下游沿江平原—浙江—赣北—湘东降水量波动增强、气温波动减弱区和Ⅱ₁ 淮河流域—长江下游平原气温波动减弱、降水量波动增强区。从地理位置来看,这三个二级气候变化区划分区主要分布在中国经济发展最为迅猛的东南沿海地区;年代际平均单站对流型暴雨雨量最低的且排在前三位的是 V₂ 青藏高原气温波动增强、降水量波动增强区、V₁ 新疆山地—祁连山—内蒙古高原气温波动减弱、降水量波动增强区和Ⅳ₁ 藏南山地—高原降水量波动增强、气温波动增强区。从地理位置来看,这三个二级气候变化区划分区主要分布在中国的西部地区,从行政区划上来看,主要分布在新疆和西藏全境及内蒙古和

甘肃的部分地区,这里是身处中国内陆腹地,水汽来源相比Ⅱ₃南岭东部丘陵山地气温波动减弱、降水量波动减弱区、Ⅱ₂长江下游沿江平原—浙江—赣北—湘东降水量波动增强、气温波动减弱区和Ⅱ₁淮河流域—长江下游平原气温波动减弱、降水量波动增强区缺乏。

在平均单站过程型暴雨雨量方面,从一级气候变化区划分区来看,年代际的平均单站过程型暴雨雨量从大到小依次是Ⅲ西南—华南干暖趋势带、Ⅱ华东—华中温暖趋势带、Ⅰ东北—华北暖干趋势带、Ⅳ藏东南—西南温暖趋势带和Ⅴ西北—青藏高原暖湿趋势带(图 6)。从二级气候变化区划分区来看,年代际平均单站过程型暴雨雨量最高的且排在前三位的依次是Ⅲ₂秦岭东部—鄂西山地区气温波动增强、降水量波动减弱区、Ⅲ₃云贵高原—南岭西部山地丘陵降水量波动增强、气温波动增强区和Ⅲ₁秦岭西部山地—四川盆地气温波动增强、降水量波动减弱区;从地理位

置来看,这三个二级气候变化区划分区主要分布在中国的中部和西南部地区;从行政区划上来看,主要分布在四川、广州和贵州地区。

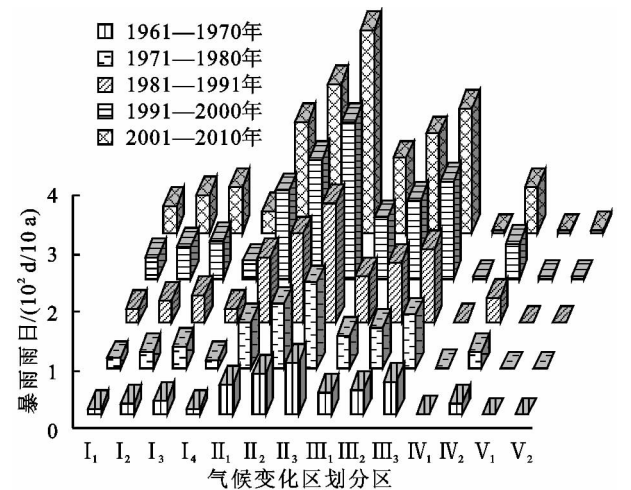


图 4 基于中国气候变化区划的 14 个二级分区的平均单站的暴雨雨日分区统计

表 3 基于中国气候变化区划的 14 个二级分区的年代际暴雨雨日的站点数百分比变化

年代	暴雨雨日(d/10 a)	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	Ⅱ ₁	Ⅱ ₂	Ⅱ ₃	Ⅲ ₁	Ⅲ ₂	Ⅲ ₃	Ⅳ ₁	Ⅳ ₂	V ₁	V ₂
1961—1970	<30	5.8	9.1	3.2	5.5	0.3	0.2	0.0	3.2	1.7	2.0	4.1	2.7	15.5	3.3
	30~60	5.5	7.3	2.1	5.0	0.2	0.0	0.0	2.6	0.8	0.8	4.1	2.0	15.5	3.3
	60~90	4.7	6.1	2.0	4.6	0.2	0.0	0.0	2.4	0.2	0.3	4.1	1.4	15.2	3.3
	90~120	2.9	5.6	1.4	2.7	0.2	0.0	0.0	2.4	0.2	0.3	4.1	1.2	15.2	3.3
	>120	1.8	3.9	1.1	1.8	0.2	0.0	0.0	2.4	0.0	0.2	4.1	0.9	15.8	3.2
1971—1980	<30	0.3	3.0	1.2	0.0	4.6	3.6	1.2	1.8	2.1	3.8	0.0	0.9	0.0	0.0
	30~60	0.5	3.0	1.4	0.6	1.2	0.2	0.0	0.9	2.1	1.8	0.0	1.2	0.0	0.0
	60~90	1.1	2.3	1.1	1.5	0.0	0.0	0.0	0.3	1.1	1.5	0.0	0.9	0.0	0.0
	90~120	2.6	2.4	1.1	2.4	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	0.8	0.0	0.8	0.0	0.0
	>120	3.3	3.3	1.1	3.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.3	0.0	0.5	0.0	0.2
1981—1990	<30	0.0	0.3	0.2	0.0	1.1	3.3	2.7	1.7	0.9	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	30~60	0.2	1.7	0.8	0.0	3.2	3.0	0.3	1.4	0.8	2.9	0.0	0.5	0.0	0.0
	60~90	0.2	3.0	0.6	0.2	1.2	0.2	0.0	0.9	1.8	1.5	0.0	0.9	0.0	0.0
	90~120	0.2	2.4	1.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.5	0.9	1.4	0.0	0.8	0.0	0.0
	>120	0.6	1.2	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1991—2000	<30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.7	1.4	0.3	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
	30~60	0.0	0.3	0.3	0.0	1.2	2.6	2.4	1.5	0.6	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0
	60~90	0.2	0.5	0.5	0.0	2.7	2.4	0.5	1.2	0.6	1.4	0.0	0.2	0.0	0.0
	90~120	0.2	2.1	0.3	0.0	1.4	0.2	0.0	0.8	1.2	1.1	0.0	0.5	0.0	0.0
	>120	0.2	1.5	0.8	0.2	0.5	0.0	0.0	0.5	1.2	1.2	0.0	0.5	0.0	0.0
2001—2010	<30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	2.0	0.2	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
	30~60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	3.2	4.9	0.8	0.6	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	60~90	0.0	0.3	0.5	0.0	2.1	6.4	6.8	2.3	1.4	5.5	0.0	0.3	0.0	0.0
	90~120	0.2	0.6	0.8	0.0	4.7	9.1	7.0	3.2	1.8	6.7	0.0	0.5	0.0	0.0
	>120	0.2	2.4	1.1	0.0	5.6	9.1	7.3	3.6	2.6	7.4	0.0	0.9	0.0	0.0

在平均单站对流型暴雨雨日方面,对流型暴雨雨日与对流型暴雨雨量具有类似的空间分布格局;在平均单站过程型暴雨雨日方面,从一级气候变化区划分区来看,年代际的平均单站过程型暴雨雨日从大到小依次是Ⅱ华东—华中温暖趋势带、Ⅲ西南—华南干暖趋势带、Ⅰ东北—华北暖干趋势带、Ⅳ藏东

南—西南温暖趋势带和Ⅴ西北—青藏高原暖湿趋势带(图 4),且Ⅱ华东—华中温暖趋势带和Ⅲ西南—华南干暖趋势带远大于其他分区;从二级气候变化区划分区来看,年代际平均单站过程型暴雨雨日最高的且排在前三位的依次是Ⅱ₃南岭东部丘陵山地区气温波动减弱、降水量波动减弱区、Ⅱ₂长江下游沿江

平原—浙江—赣北—湘东降水量波动增强、气温波动减弱区和Ⅲ。云贵高原—南岭西部山地丘陵降水量波动增强、气温波动增强区;从地理位置来看,这三个二级气候变化区划分区主要分布在中国长江以南的区域。

以上分析表明对流型暴雨在显著增加,而过程型暴雨相比对流型暴雨则变化相对较小。对流型暴雨一般雨强相对较大,持续时间较短,在城市地区的午

后常常发生。而以上分析中对流型暴雨显著增加的区域都是人口集中,大都市区密集分布的地方。这表明全球变暖背景下人类活动可能在一定程度上加剧了对流型暴雨的显著增加。而过程型暴雨一般是天气过程的产物,其增加的地区主要集中在东南沿海台风登陆高发区和天气气旋的过程。这说明以快速城市化表征的人类活动叠加全球气候变暖和自然气候因子是气候变化的主要影响因素。

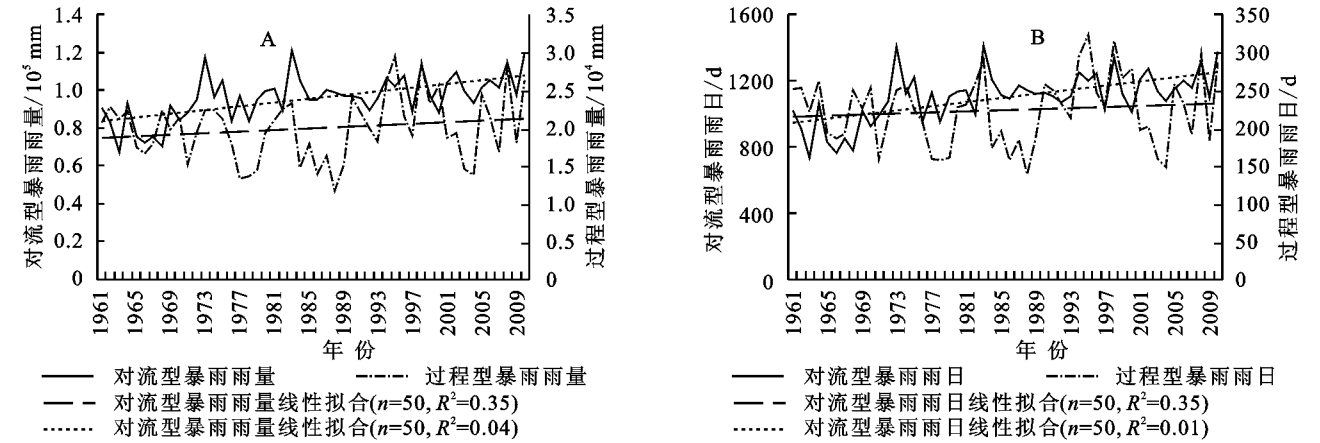


图 5 中国对流型暴雨和过程型暴雨年际变化

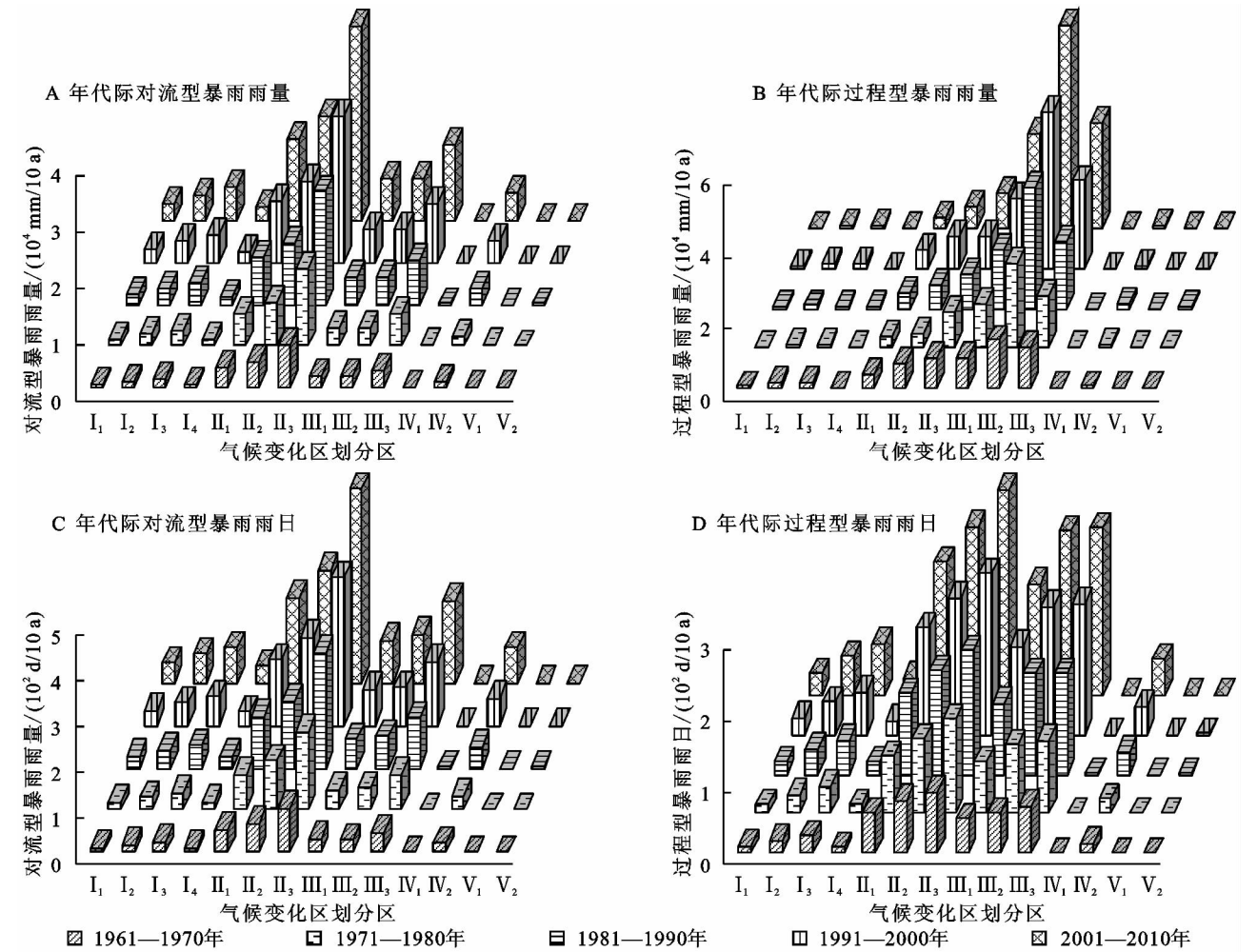


图 6 基于中国气候变化区划的 14 个二级分区的对流型暴雨和过程型暴雨的分区统计

3 结论和讨论

3.1 结论

(1) 从一级气候变化区划分区来看,年际和年代际的平均单站暴雨雨量和暴雨雨日从大到小依次是Ⅱ华东—华中温暖趋势带、Ⅲ西南—华南干暖趋势带、Ⅰ东北—华北暖干趋势带、Ⅳ藏东南—西南温暖趋势带和Ⅴ西北—青藏高原暖湿趋势带;从二级气候变化区划分区来看,年际和年代际平均单站暴雨雨量和暴雨雨日最高的且排在前三位的依次是Ⅱ₃南岭东部丘陵山地气温波动减弱、降水量波动减弱区、Ⅱ₂长江下游沿江平原—浙江—赣北—湘东降水量波动增强、气温波动减弱区和Ⅲ₃云贵高原—南岭西部山地丘陵降水量波动增强、气温波动增强区;年际和年代际平均单站暴雨雨量和暴雨雨日最低的且排在前三位的是Ⅴ₂青藏高原气温波动增强、降水量波动增强区、Ⅴ₁新疆山地—祁连山—内蒙古高原气温波动减弱、降水量波动增强区和Ⅳ₁藏东南山地—高原降水量波动增强、气温波动增强区。

(2) 从暴雨变化趋势来看,全国14个二级气候变化区划分区中总共有8个呈现增加趋势,占全国总面积的69.04%;6个二级气候变化区划分区呈现减少趋势,占全国总面积的30.96%。在降水趋势减少的Ⅰ₁和Ⅲ₃两个二级气候变化分区,平均单站暴雨雨量和暴雨雨日呈现增加趋势;在降水趋势增加的二级气候变化分区Ⅳ₁藏东南山地—高原降水量波动增强、气温波动增强区,平均单站暴雨雨量和暴雨雨日呈现减少趋势。现有的气候变化区划不能全面反映暴雨变化,需要增加极端降水的三级气候变化区划。

(3) 从全国整体来看,对流型暴雨占总暴雨的比例达80%以上,过程型暴雨仅占不到20%。在暴雨变化趋势上,对流型暴雨和过程型暴雨都呈现增加的趋势,但对流型暴雨增加的更显著,且年际变化幅度小,波动小;过程型暴雨增加小,年际变化幅度大,波动大。对流型暴雨增加显著的区域主要分布在人口密集和大都市聚集的地区。而过程型暴雨增加的地区则主要分布在东南沿海台风登陆高发区和天气过程频发的地区。表明人类活动可能在一定程度上加剧了暴雨的显著增加。

3.2 讨论

(1) 气候变化区划的稳定性问题。由于气候变化区划的结果与所选择的时间尺度有很大的关系,即在不同时间尺度下,气候变化区划结果可能表现出较大差异。按照不同的气候变化分区统计暴雨,会对暴雨的时空变化特征产生很大的差异。本文只采用了1961—2010年中国气候变化整体表现的气候变化分区,那么2010年以后的气候变化是否在这5个一级趋势变化区和14个二级波动特征区表现出相同的趋

势变化和波动特征,即现有的中国气候变化区划(1961—2010)在未来是否具有稳定性,还有待于时间的进一步检验;未来的暴雨在现有的气候变化分区表现出何种特征,也有待以时间的进一步检验。

(2) 气候变化区划的三级区划:极端气候事件。由于《中国气候变化区划(1961—2010)》一文中所采用的气候波动特征指标在一定程度上包含了暴雨事件的变化,但是还未能完全反映暴雨事件的变化;且气候变化区划是基于年值降水和气温数据,利用趋势和波动特征对中国整体气候变化进行的区划,不能够正确反映极端降水的变化趋势。因此有必要针对暴雨进行气候变化区划的三级区划,即极端气候事件的区划。

(3) 人类社会经济活动影响问题。中国暴雨变化不但受区域大气可降水量和水汽通量及诸多大气、海洋等气候因子的影响,且越来越受到人类社会经济活动的影响。已有研究表明,当前全球18%的强降水是由人类活动引起的全球变暖所导致的。随着未来气温上升,这个比例还会增加;模拟结果显示,如果气温比工业发展前的水平多升高2°C,那么人类活动将影响40%的极端降水^[16]。因此,若要深刻理解中国暴雨在年际和年代际尺度上的显著变化,还应考虑人类社会经济活动的影响。伴随着城市建成区面积的增加,地表景观发生了重大改变。1996—2010年,中国城市个数年均增长率1.01%,建成区面积年均增长率7.91%。大规模城市数量和大面积建成区的增加有利于对流型暴雨的增加。伴随能源使用的增加,年均霾日数增加。中国年均霾日数从1951年的2.3 d,增加到2010年的11.74 d,年均增长0.16 d,年均增长率为2.78%,1996—2010年年均增长0.37 d,年均增长率为4.21%。年均霾日数的增加,有利于降雨凝结核的形成,即也有利于对流型暴雨的增加。一方面在给定观测的自然和人为强迫因子的条件下,合理再现和确认大尺度区域暴雨年际和年代际变化的稳健信号;另一方面,通过模拟研究加深不同气候变化分区下人类活动对区域暴雨的热力、动力、云物理等过程影响的科学理解;从而进一步揭示气候变化的区域分异规律与暴雨灾害风险之间的关系。

参考文献:

- [1] Alexander L V, Zhang X, Peterson T C, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*(1984—2012), 2006, 111(D5).
- [2] Beniston M, Stephenson D B, Christensen O B, et al. Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections[J]. *Climatic Change*, 2007, 81(1): 71-95.

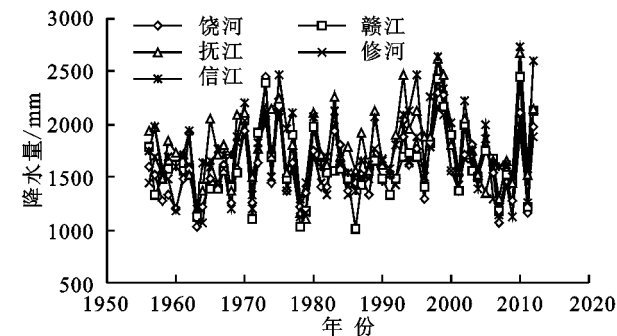


图 6 五河流域年降水量过程线

5 结 论

- (1) 近 50 多年来,鄱阳湖流域“五河”入湖径流量整体无明显上升或下降趋势。
- (2) 近 30 多年来,“五河”年平均输沙量均有整体显著下降趋势;赣江流域的年均输沙量从 80 年代初开始有显著减少趋势,而其他的抚河、信江、饶河、修河四个流域的年平均输沙量均是从 21 世纪初有显著减少趋势。
- (3) 降水量对鄱阳湖“五河”流域径流泥沙变化无显著影响,人类活动是主要驱动因素,水利、水保及林业工程是径流泥沙变化的主要影响因素。

参考文献:

[1] 叶许春,张奇,刘健,等. 鄱阳湖天然径流变化特征与水

旱灾害[J]. 自然灾害学报,2012,21(1):140-147.

[2] 李景保,王克林,秦建新,等. 洞庭湖年径流泥沙的演变特征及其动因[J]. 地理学报,2005,60(3):503-510.

[3] 郭华,苏布达,王艳君,等. 鄱阳湖流域 1955—2002 年径流系数变化趋势及其与气候因子的关系[J]. 湖泊科学,2007,19(2):163-169.

[4] 刘健,张奇,许崇育,等. 近 50 年鄱阳湖流域径流变化特征研究[J]. 热带地理,2009,29(3):213-218,224.

[5] 李微,李昌彦,吴敦银,等. 鄱阳湖近 60 年天然入湖径流特征分析[J]. 人民长江,2015,46(17):18-23.

[6] 刘成,张翔,肖洋,等. 鄱阳湖五河流域入湖年径流变化特征分析[J]. 水电能源科学,2015,33(5):1-4,18.

[7] 涂安国,杨洁,李英,等. 人类活动对赣江入湖泥沙量的影响[J]. 水土保持学报,2013,27(2):76-79.

[8] 罗蔚,张翔,邹大胜,等. 鄱阳湖流域抚河径流特征及变化趋势分析[J]. 水文,2012,32(3):75-82.

[9] 施能,陈绿文. 全球陆地年降水场的长期变化(1948—2000 年)[J]. 科学通报,2002,47(21):1671-1674.

[10] 闵赛,闵聃. 鄱阳湖区干旱演变特征与水文防旱对策[J]. 水文,2010,30(1):84-88.

[11] 王宏,冉大川,白志刚,等. 人类活动对黄河中游水沙影响的分析计算[J]. 水土保持研究,2007,14(5):157-159.

[12] 龚向民,李昆,刘筱琴,等. 赣江流域水土流失现状与发展态势研究[J]. 人民长江,2006,37(8):48-50.

(上接第 196 页)

[3] Brown P J, Bradley R S, Keimig F T. Changes in extreme climate indices for the Northeastern United States, 1870—2005[J]. Journal of Climate, 2010,23(24):6555-6572.

[4] IPCC SREX. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation[M]. London: Cambridge University Press,2012.

[5] Murray V, Ebi K L. IPCC special report on managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation(SREX)[J]. Journal of Epidemiology and Community Health, 2012,66(9):759-760.

[6] IPCC AR5. Intergovernmental Panel on Climate Change Climate Change Fifth Assessment Report (AR5) [C]. Cambridge, UK: Cambridge University Press,2013.

[7] Benestad R E, Nychka D, Mearns L O. Spatially and temporally consistent prediction of heavy precipitation from mean values[J]. Nature Climate Change, 2012,2(7):544-547.

[8] Berg P, Moseley C, Haerter J O. Strong increase in convective precipitation in response to higher temperatures[J]. Nature Geoscience, 2013,6(3):181-185.

[9] Easterling D R, Evans J L, Groisman P Y, et al. Observed variability and trends in extreme climate events: a brief

review[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2000,81(3):417-425.

[10] Zhai P, Sun A, Ren F, et al. Changes of climate extremes in China[J]. Climatic Change, 1999,42(1):203-218.

[11] Zhai P, Zhang X, Wan H, et al. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China [J]. Journal of Climate, 2005,18(7):1096-1108.

[12] Qian W, Fu J, Zhang W, et al. Changes in mean climate and extreme climate in China during the last 40 years[J]. Advances in Earth Science, 2007,22(7):673-684.

[13] Zhang X, Zwiers F W, Hegerl G C, et al. Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends[J]. Nature, 2007,448(7152):461-465.

[14] 史培军,孔锋,方佳毅. 中国年代际暴雨时空变化格局[J]. 地理科学,2016,34(11):1281-1290.

[15] 史培军,孙劭,汪明,等. 中国气候变化区划(1961—2010 年)[J]. 中国科学地球科学:中文版,2014,44(10):2294-2306.

[16] Fischer E M, Knutti R. Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes[J]. Nature Climate Change, 2015,5(6):560-564.