DOI:10.19789/j.1004-9398.2017.05.015

中国不同强度暴雨年代际时空演变特征(1951—2010)*

孔 锋[1,2,3,4] 吕丽莉[1,2] 方 建[5] 张黎黎[1] 王卓妮[1]

(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. 民政部/教育部
减灾与应急管理研究院,北京 100875; 5. 武汉大学 资源与环境科学学院,湖北 武汉 430079)

摘 要

全球变暖背景下特大暴雨越来越频繁,强度更大的暴雨因其致灾性更强,会导致更加严峻的暴雨洪涝风险. 以往的研究都是将大暴雨和特大暴雨统归到暴雨之中,无法全面准确把握大暴雨和特大暴雨的时空动态变化特征. 因此,本文采用中国659个气象站点的日值降水数据,以雨量、雨日和雨强为暴雨特征,分别计算了1951—2010不同年代三种不同强度暴雨(暴雨、大暴雨和特大暴雨)的统计特征,重点诊断分析了暴雨、大暴雨和特大暴雨的时空变化规律. 结果表明在占总暴雨比例上,暴雨最大,大暴雨次之,特大暴雨最小;在时间上,中国年代际暴雨和大暴雨的雨量、雨日和雨强均呈现出动态增加的趋势,在空间上,仅雨量和雨日有扩张趋势,而雨强变化不甚显著. 而年代际特大暴雨,在时间上雨量和雨日呈现出"先增—后减—再增"的变化特征,雨强则"先减—后增—再减";在空间上特大暴雨的雨量、雨日和雨强并未有十分显著的变化. 中国暴雨在朝着极端化方向发展,极有可能是人文因素强迫并叠加自然因素作用的结果.

关键词: 暴雨等级,特大暴雨,区域差异,动态变化,中国.

中图分类号: P468.0

0 引 言

暴雨一般划分为暴雨(50~100 mm/d)、大暴雨(100~250 mm/d)和特大暴雨(>250 mm/d)[1-2]. 不同强度的暴雨作为极端天气气候的重要指标[3-4],尤其是大暴雨和特大暴雨常会引起洪涝灾害,严重影响工农业生产,造成农田受浸,作物倒伏甚至绝收,水利设施被冲垮,城市交通瘫痪,工矿企业停产,给人民生命财产带来严重威胁[5-6]. 更大强度的暴雨因其致灾性更强,会导致影响范围更广,损失更大的暴雨灾害风险. 尤其是在全球变暖背景下特大暴雨越来越频繁,以往的研究都是将其归为暴雨之中,无法全面准确把握特大暴雨的长期变化特征. 例如2016年7月18—20日发生在河北邢台的历史罕见特大暴雨,由于其范围广、强度大、峰值高,导致山洪暴发、河水猛涨,部分村庄农田被淹,一些城市内涝严重,造成重大人员伤亡和财产损失,截止2016年7月23日18时,河北生因暴雨洪涝受灾人口达904万,因灾死亡130人、失踪110人,直接经济损失达163.68亿元,特大强度的暴雨再一次给国家社会经济的健康安全发展敲响警钟[7]. 因此,研究不同强度暴雨尤其是大暴雨和特大暴雨的时空分布特征应势而生,恰逢其时. 既对于正确认识全球气候变暖背景下的极端天气气候变化具有重要科学意义[8-10],同时也是谋求经济安全、社会安全、生态安全、资源安全的重要管理一环. 在《中国年代际暴雨时空变化格局》一文中将日降雨量超过50 mm的降水事件作为暴雨,研究了1951—2010年中国年代际累积暴雨雨量、雨日及雨强的时空演变规律,发现了中国暴雨在时间上"先上升—后平稳—再上升"的动态变化特征,空间上从东南沿海向西北内陆梯次推进的变化过程[11],但没有将暴雨按不同强度分级研究,不能反映出致灾性更强的大暴雨和特大暴雨在总暴雨中的量级和比例的时间序列变化和空间分布特征,也不能揭示何种强度的暴雨在总暴雨份额中占有主导作用. 同时,不同强度的暴雨一般预示着不同程度的暴雨预警信号,对人们的生产生活产生

收稿日期:2016-12-30

* 气象软科学自主项目(2017[36]);气象软科学重点项目(2017[21]);中国清洁发展机制基金(2014087);国家自然科学基金项目(41601561);国家自然科学基金创新研究群体项目(41621061).

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

重要影响. 国内研究不同强度暴雨的雨量、雨日和雨强的研究相比总暴雨较少. 因此,一方面为了进一步完善和深化中国年代际暴雨时空变化格局的研究,另一方面也为区域暴雨变化区划服务,回应社会关切大暴雨—特大暴雨空间分布规律,本文以中国气象局颁布的不同强度暴雨标准为基础,诊断暴雨、大暴雨和特大暴雨雨量、雨日和雨强的年代际时空变化格局,从而为我国暴雨洪涝灾害风险防范和科技减灾及区域暴雨变化区划提科学支撑.

1 数据和方法

本文采用的降水数据与《中国年代际暴雨时空变化格局》[11] 一文相一致,即来自中国气象科学数据共享服务网地面气象资料数据库中的 1951—2010 年的 659 站的日降水量. 根据中国气象局颁布的降水强度等级划分标准,本文将日降雨量达到 50 ~ 100 mm 作为暴雨,100 ~ 250 mm 作为大暴雨,大于 250 mm 作为特大暴雨. 据此分别计算 1951—2010 年中国年代际三种强度暴雨的雨量、雨日和雨强,详细的计算公式参照文献[11]. 气象站点分布如图 1 所示,"胡焕庸线"特指黑龙江黑河至云南腾冲一线.

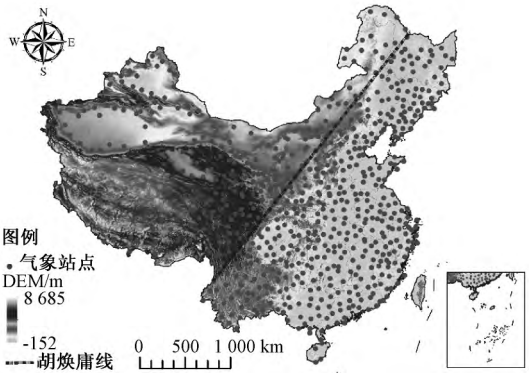


图 1 气象站点分布、数字高程与"胡焕庸线"

2 结果与分析

2.1 中国不同强度暴雨雨量时空变化格局

不同强度的暴雨雨量呈现出不同程度的增加趋势. 1951—2010 年中国年代际暴雨和大暴雨雨量呈现出"先迅速—后平稳—再迅速"增加的动态变化特征,而特大暴雨雨量则呈现出"先增—后减—再增"的变化趋势(图 2). 2001—2010 中国暴雨、大暴雨和特大暴雨雨量同比 1951—1960 分别增长了 42.76%、78.86% 和 102.53%. 尤为值得注意的是 1990 年以来的暴雨、大暴雨和特大暴雨雨量均表现出较大的增加幅度,2001—2010 同比 1991—2000 分别增长了 9.02%、12.68% 和 34.39%. 从不同强度暴雨雨量的量级来看,各年代暴雨雨量最大,大暴雨雨量次之,特大暴雨雨量最小,它们依次占总暴雨雨量的比例约为 98.50%、1.50% 和 0.01%.

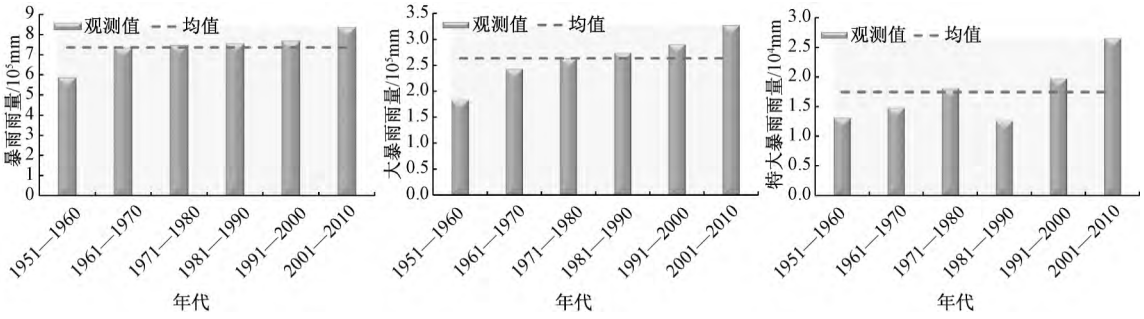


图 2 中国年代际不同强度暴雨雨量的动态变化(1951—2010)

在空间上,中国暴雨、大暴雨雨量呈现出"东南高—西北低"的空间分异格局,而特大暴雨雨量则主要分布在东南沿海及其毗邻的内陆地区,且呈零星状分布. 中国暴雨雨量在 1951—1960 开始呈现出从东南沿海向内陆地区不断扩张的趋势(图 3). 年代际暴雨雨量从 1951—1960 的沿海及其附近内陆的个别站点,逐渐成片增长,到 2001—2010 在秦岭—淮河一线以南的广大地区已经有较多的站点超过 4 000 mm. 从站点数目变化来看,年代际暴雨雨量大于 4 000 mm 的站点随着年代推移而不断增加,从 1951—1960 的 36 个(表 1),增加到 2001—2010 的 103 个,占总站点数的比例增加了 10.17%;年代际暴雨雨量小于 1 000 mm 的站点整体呈现出减少趋势,由 1951—1960 的 405 个,减少到 2001—2010 的 359 个,占总站点数的比例减少了 6.98%. 这说明处在 50 ~ 100 mm 的暴雨呈增加趋势,表明中国暴雨在朝着极端化方向发展.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

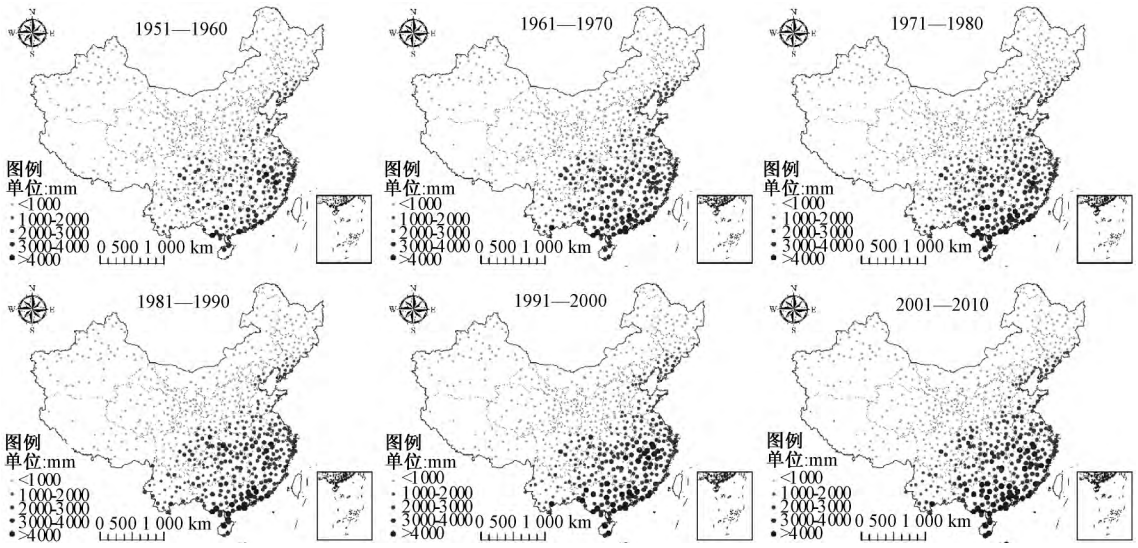


图 3　中国年代际暴雨雨量时空格局变化(1951—2010)

表 1　中国年代际不同强度暴雨雨量气象站点数目变化(1951—2010)　　单位: 个

年代	中国年代际暴雨雨量等级/mm				
	<1 000	1 000～2 000	2 000～3 000	3 000～4 000	>4 000
1951—1960	405(61.46%)	111(16.84%)	82(12.44%)	25(3.79%)	36(5.46%)
1961—1970	336(50.99%)	93(14.11%)	106(16.08%)	62(9.41%)	62(9.41%)
1971—1980	340(51.59%)	116(17.60%)	91(13.81%)	54(8.19%)	58(8.80%)
1981—1990	342(51.90%)	99(15.02%)	95(14.42%)	61(9.26%)	62(9.41%)
1991—2000	358(54.32%)	89(13.51%)	78(11.84%)	56(8.50%)	78(11.84%)
2001—2010	359(54.48%)	64(9.71%)	83(12.59%)	50(7.59%)	103(15.63%)
年代	中国年代际大暴雨雨量等级/mm				
	<500	500～1 000	1 000～1 500	1 500～2 000	>2 000
1951—1960	536(81.34%)	72(10.93%)	27(4.10%)	10(1.52%)	14(2.12%)
1961—1970	465(70.56%)	109(16.54%)	44(6.68%)	17(2.58%)	24(3.64%)
1971—1980	492(74.66%)	102(15.48%)	26(3.95%)	14(2.12%)	25(3.79%)	
1981—1990	485(73.60%)	91(13.81%)	39(5.92%)	14(2.12%)	30(4.55%)
1991—2000	470(71.32%)	96(14.57%)	40(6.07%)	22(3.34%)	31(4.70%)
2001—2010	461(69.95%)	81(12.29%)	58(8.80%)	21(3.19%)	34(5.16%)
年代	中国年代际特大暴雨雨量等级/mm				
	=0	<250	250～500	500～750	>750
1951—1960	625(94.84%)	1(0.15%)	27(4.10%)	2(0.30%)	4(0.61%)
1961—1970	617(93.63%)	0(0.00%)	34(5.16%)	5(0.76%)	3(0.46%)
1971—1980	614(93.17%)	0(0.00%)	36(5.46%)	6(0.91%)	3(0.46%)
1981—1990	628(95.30%)	0(0.00%)	22(3.34%)	5(0.76%)	4(0.61%)
1991—2000	610(92.56%)	0(0.00%)	37(5.61%)	8(1.21%)	4(0.61%)
2001—2010	604(91.65%)	0(0.00%)	38(5.77%)	10(1.52%)	7(1.06%)

注: 括号中的数字表示站点数占总站点数的比例

中国年代际大暴雨雨量小于 500 mm 的区域主要分布在“胡焕庸线”以西的地区(图 4). 年代际超过 500 mm 的大暴雨雨量从 1951—1960 开始随着年代推移,不同大暴雨雨量等级的站点在东南地区不断增加,且在不同年代具有明显的区域和次区域性. 从站点数目变化来看,年代际大暴雨雨量大于 500 mm 的站点随着年代推移而不断增加,从 1951—1960 到 2001—2010,年代际大暴雨雨量位于 500～1 000、1 000～1 500、1 500～2 000 和超过 2 000 mm 区间的站点数占总站点数的比例分别增加了 1.36%、4.70%、1.67% 和 3.04%(表 1);年代际大暴雨雨量小于 500 mm 的站点随着年代推移整体呈减少趋势,其占总站点数的比例减少了 11.39%. 这表明大于 500 mm 的年代际大暴雨雨量

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

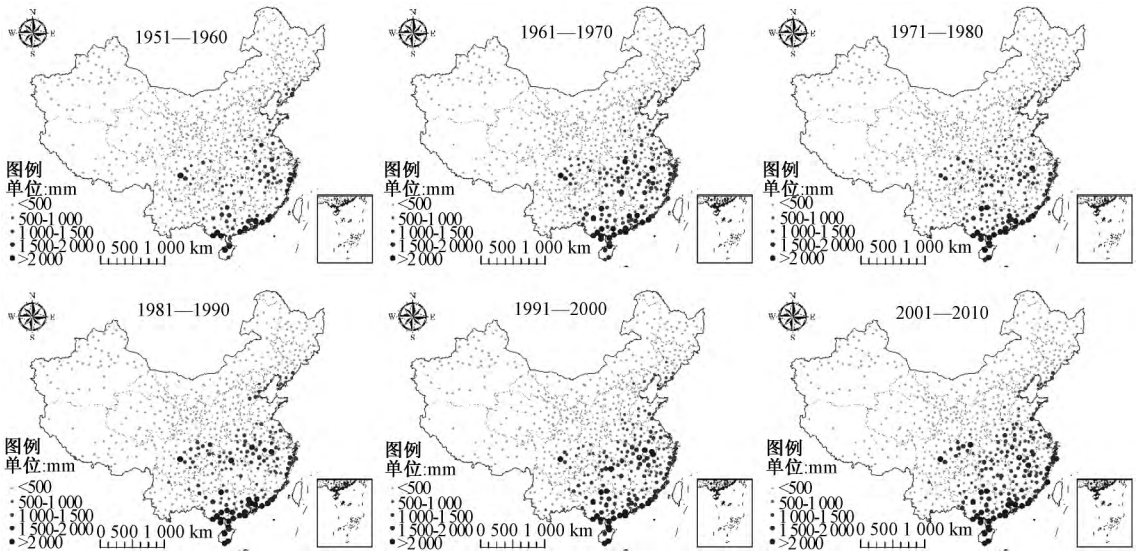


图 4 中国年代际大暴雨雨量时空格局变化(1951—2010)

在呈增加趋势,大暴雨雨量在朝着极端化方向发展.

中国年代际特大暴雨雨量在 1951—2010 年的空间分布变化不大(图 5),主要位于“胡焕庸线”以东,在内陆以零星分布为主,在东南沿海分布较多;“胡焕庸线”以西的内陆地区在过去 60 年没有发生过特大暴雨事件. 从站点数目变化来看,年代际特大暴雨雨量超过 750 mm 的站点从 1951—1960 的 4 个(表 1),增加到 2001—2010 的 7 个,占总站点的比例增加了 0.45%;其中年代际特大暴雨雨量为 0 mm 的站点从 1951—1960 的 625 个,减少到 2001—2010 的 604 个,占总站点的比例减少了 3.19%;通过对比年代际暴雨、大暴雨和特大暴雨雨量的站点数可知,暴雨雨量的站点数变化最大,大暴雨次之,特大暴雨最小.

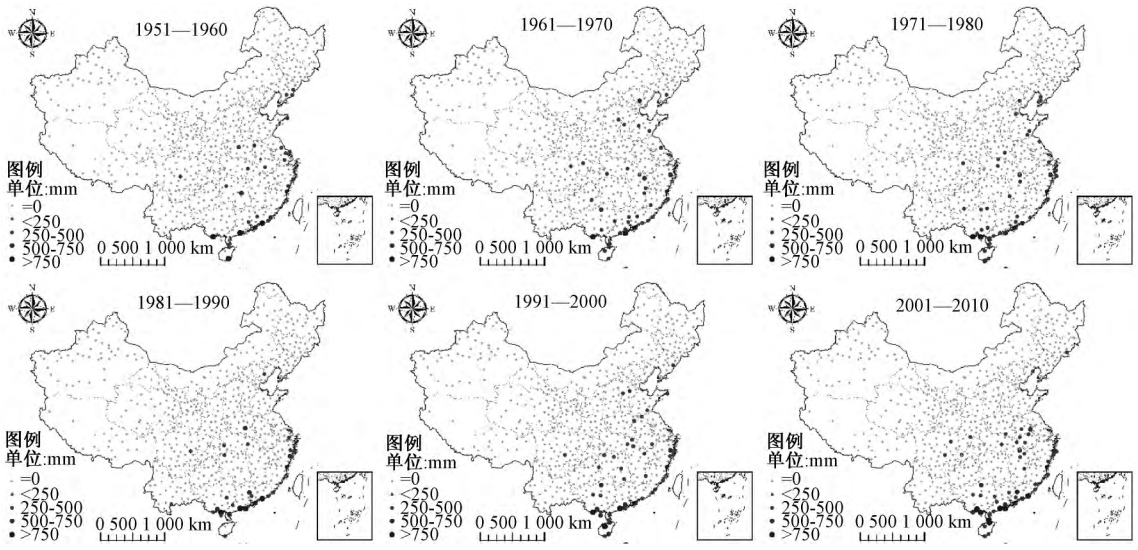


图 5 中国年代际特大暴雨雨量时空格局变化(1951—2010)

2.2 中国不同强度暴雨雨日时空变化格局

1951—2010 年中国年代际暴雨和大暴雨雨日呈现出一致性增加趋势(图 6),而特大暴雨雨日则呈现出“先增—后减—再增”的趋势. 2001—2010 中国暴雨、大暴雨和特大暴雨雨日相比 1951—1960 分别增长了 33.52%、64.11% 和 102.33%. 尤为值得注意的是 1990 年以来的暴雨、大暴雨和特大暴雨雨日均表现出较大的增加幅度,其中 2001—2010 同比 1991—2000 分别增长了 8.56%、12.51% 和 35.94%. 从不同强度暴雨雨日的量级来看,各年代暴雨雨日最大,大暴雨雨日次之,特大暴雨雨日最小,它们占总暴雨雨日的比例依次为约 99.15%、

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

0. 75% 和 0. 05% . 三种强度的暴雨雨日整体呈现出不同程度的增加趋势.

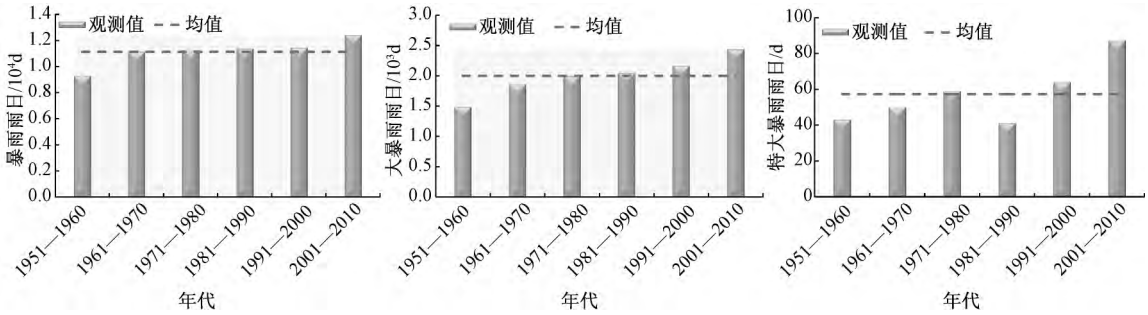


图 6　中国年代际不同强度暴雨雨日的动态变化(1951—2010)

在空间上,中国年代际暴雨雨日首先呈现出“东南高—西北低”的空间分异格局(图 7) . 随着年代推移年代际暴雨雨日从东南沿海向内陆地区不断增加,尤其值得注意的是自环渤海至云南腾冲一线以东的地区是中国年代际暴雨雨日超过 60 d 的主要分布区. 从站点数目变化来看,年代际暴雨雨日大于 60 d 的站点随着年代推移而不断增加,从 1951—1960 的 20 个(表 2) ,增加到 2001—2010 的 74 个,占总站点数的比例增加了 8. 20%; 年代际暴雨雨日小于 15 d 的站点随着年代推移整体呈现出减少趋势,由 1951—1960 的 418 个,减少到 2001—2010 的 365 个,占总站点数的比例减少了 8. 04% . 进一步表明日降雨量处在 50 ~ 100 mm 的暴雨在朝着极端化方向发展.

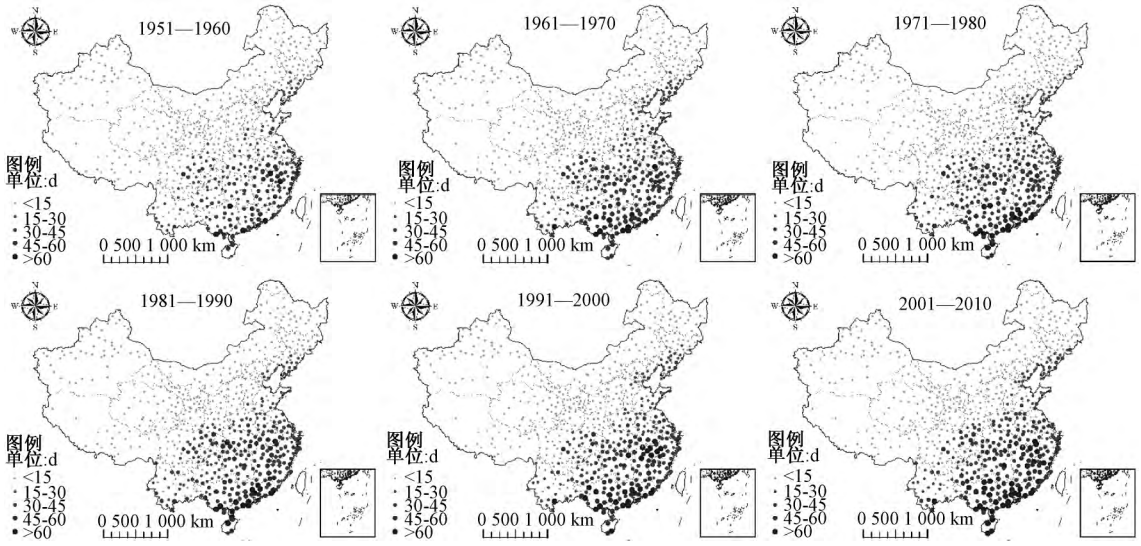


图 7　中国年代际暴雨雨日时空格局变化(1951—2010)

中国大暴雨雨日在 1951—2010 年的各年代呈现出“东南高,西北低”的空间分布格局(图 8) . 随时间推移,年代际大暴雨雨日大于 3 d 的站点在“胡焕庸线”以东分布越来越密集,且有从东南沿海向内陆扩张的趋势. 从站点数目变化来看,年代际大暴雨雨日小于 3 d 的站点由 1951—1960 的 517 个(表 2) ,减少到 2001—2010 的 446 个,占总站点的比例减少了 10. 77% . 年代际大暴雨雨日大于 12 d 的站点由 1951—1960 的 19 个,增加到了 2001—2010 的 50 个,其占总站点的比例增加了 4. 71% .

中国年代际特大暴雨雨日在 1951—2010 年并未有空间上的显著变化(图 9) . 中国特大暴雨雨日主要分布在东南沿海地区,在东南内陆地区也有零星分布. 从站点数目变化来看,年代际特大暴雨雨日为 0 d 的站点由 1951—1960 的 625 个(表 2) ,减少到 2001—2010 的 604 个,占总站点的比例减少了 3. 19% . 年代际大暴雨雨日等于 1、2、3 和大于 3 d 的站点占总站点的比例从 1951—1960 到 2001—2010 分别增加了 1. 52%、1. 06%、0. 46% 和 0. 16% . 总体来看,特大暴雨雨日有增加的趋势.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2 中国年代际不同强度暴雨雨日气象站点数目变化(1951—2010) 单位: 个

年代	中国年代际暴雨雨日等级/d				
	<15	15~30	30~45	45~60	>60
1951—1960	418(63.43%)	130(19.73%)	63(9.56%)	28(4.25%)	20(3.03%)
1961—1970	349(52.96%)	117(17.75%)	102(15.48%)	52(7.89%)	39(5.92%)
1971—1980	346(52.50%)	137(20.79%)	93(14.11%)	44(6.68%)	39(5.92%)
1981—1990	352(53.41%)	111(16.84%)	99(15.02%)	54(8.19%)	43(6.53%)
1991—2000	366(55.54%)	101(15.33%)	96(14.57%)	43(6.53%)	53(8.04%)
2001—2010	365(55.39%)	70(10.62%)	97(14.72%)	53(8.04%)	74(11.23%)
年代	中国年代际大暴雨雨日等级/d				
	<3	3~6	6~9	9~12	>12
1951—1960	517(78.45%)	77(11.68%)	31(4.70%)	15(2.28%)	19(2.88%)
1961—1970	456(69.20%)	85(12.90%)	63(9.56%)	23(3.49%)	32(4.86%)
1971—1980	474(71.93%)	106(16.08%)	29(4.40%)	16(2.43%)	34(5.16%)
1981—1990	480(72.84%)	71(10.77%)	53(8.04%)	20(3.03%)	35(5.31%)
1991—2000	454(68.89%)	91(13.81%)	45(6.83%)	27(4.10%)	42(6.37%)
2001—2010	446(67.68%)	68(10.32%)	66(10.02%)	29(4.40%)	50(7.59%)
年代	中国年代际特大暴雨雨日等级/d				
	=0	=1	=2	=3	>3
1951—1960	625(94.84%)	28(4.25%)	3(0.46%)	1(0.15%)	2(0.30%)
1961—1970	617(93.63%)	34(5.16%)	6(0.91%)	1(0.15%)	1(0.15%)
1971—1980	614(93.17%)	36(5.46%)	6(0.91%)	1(0.15%)	2(0.30%)
1981—1990	628(95.30%)	22(3.34%)	5(0.76%)	3(0.46%)	1(0.15%)
1991—2000	610(92.56%)	37(5.61%)	8(1.21%)	3(0.46%)	1(0.15%)
2001—2010	604(91.65%)	38(5.77%)	10(1.52%)	4(0.61%)	3(0.46%)

注: 括号中的数字表示站点数占总站点数的比例

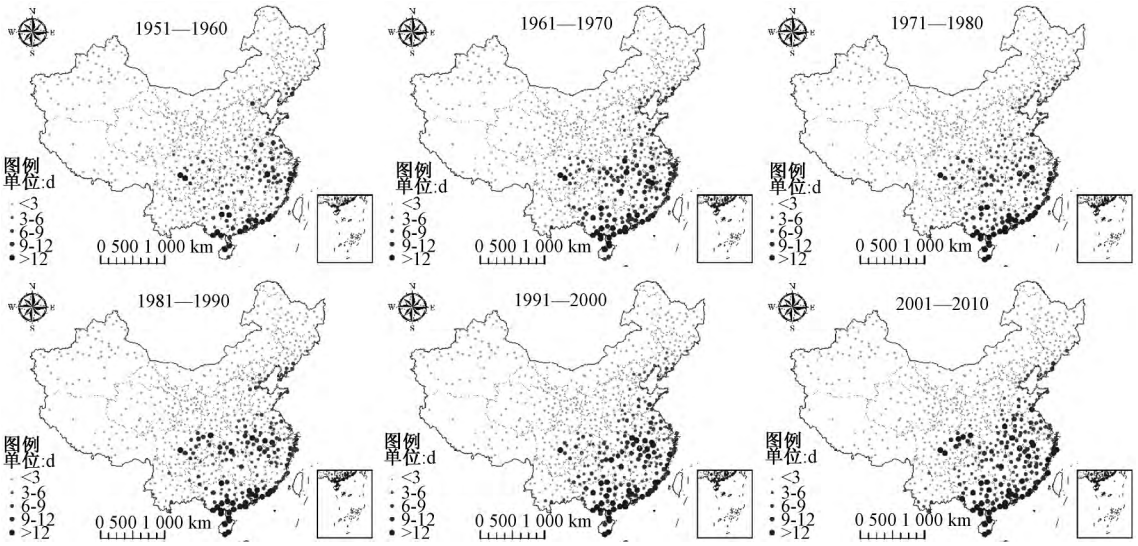


图 8 中国年代际大暴雨雨日时空格局变化(1951—2010)

2.3 中国不同强度暴雨雨强时空变化格局

1951—2010 年中国年代际暴雨和大暴雨雨强呈现出一致性的增加趋势(图 10),而特大暴雨雨强则呈现出“先减—后增—再减”的变化趋势. 2001—2010 中国暴雨、大暴雨和特大暴雨雨强相比 1951—1960 分别增长了 6.92%、8.99%和 0.10%. 因此,从雨强的增加比例来看,大暴雨最大,暴雨次之,特大暴雨最小,甚至在在某些年代具有显著的减少. 暴雨、大暴雨和特大暴雨雨强在各年代的平均雨强分别为 65.96、131.17 和 304.78 mm/d. 相比雨量和雨日,雨强的年代际变化幅度较小,且特大暴雨雨强年代间的增减幅度较大.

在空间上,中国年代际暴雨雨强在 1951—2010 年空间格局相对稳定(图 11),其中年代际暴雨雨强小于 65 mm/d 的站点主要分布在中国青藏高原及西北内陆腹地,而其以东的广大地区则是年代际暴

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

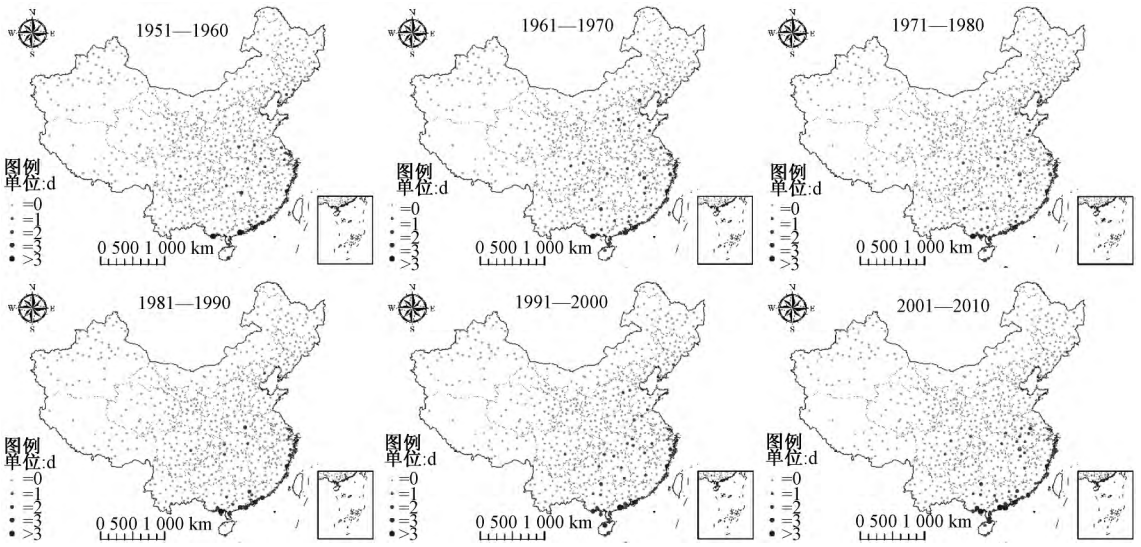


图 9　中国年代际特大暴雨雨日时空格局变化(1951—2010)

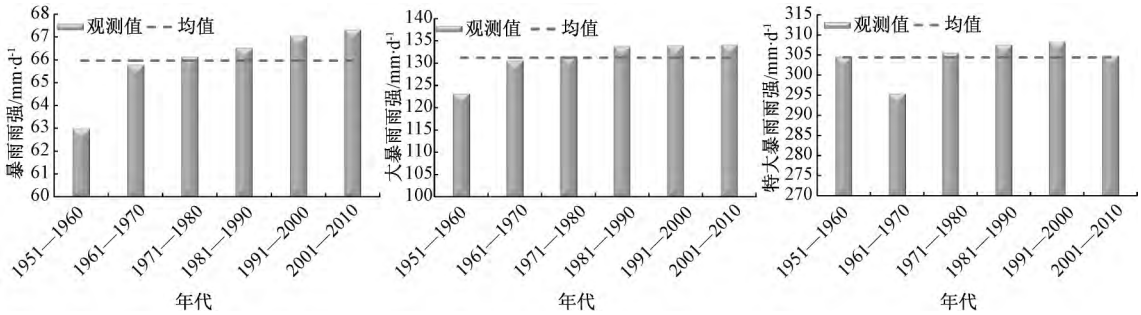


图 10　中国年代际不同强度暴雨雨强的动态变化(1951—2010)

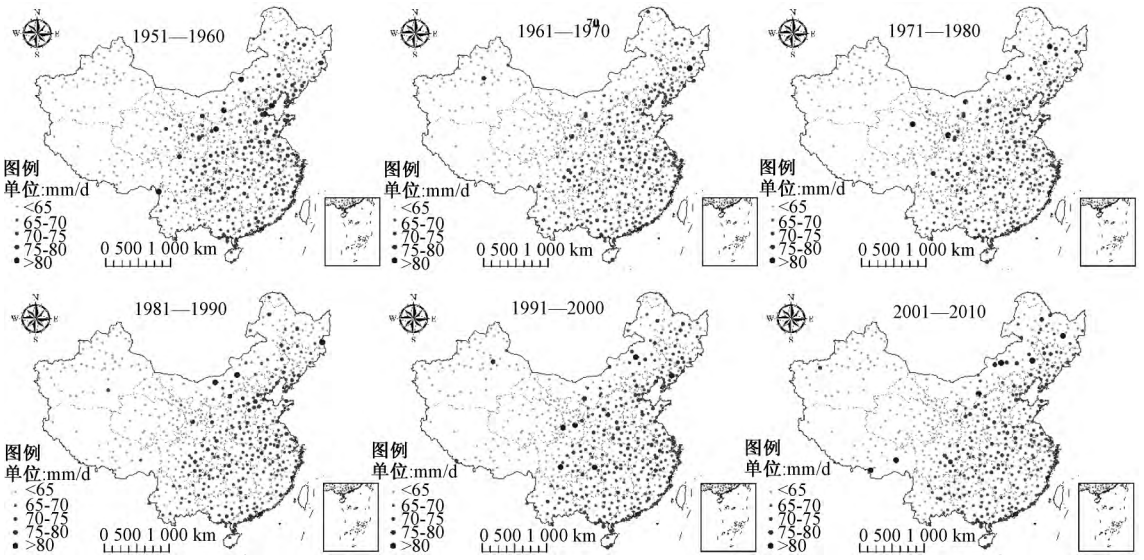


图 11　中国年代际暴雨雨强时空格局变化(1951—2010)

雨雨强超过 65 mm/d 的主要分布区,且绝大多数站点的暴雨雨强主要介于 65 ~ 80 mm/d 之间,超过 80 mm/d 的站点较少. 从站点数目变化来看,2001—2010 相比 1951—1960,中国年代际暴雨雨强小 65、70 ~ 75 和 75 ~ 80 mm/d 的站点数占总站点数的比例分别减少了 0. 30%、1. 97% 和 0. 75% (表 3) ; 而 65 ~ 70 mm/d 的站点数比例则同比增加了 3. 04% . 由于暴雨雨强是单位暴雨雨日内的暴雨雨量的刻

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 3 中国年代际不同强度暴雨雨强气象站点数目变化(1951—2010) 单位: 个

年代	中国年代际暴雨雨强等级/mm·d^{-1}				
	<65	65~70	70~75	75~80	>80
1951—1960	384(58.27%)	203(30.80%)	58(8.80%)	8(1.21%)	6(0.91%)
1961—1970	375(56.90%)	236(35.81%)	44(6.68%)	3(0.46%)	1(0.15%)
1971—1980	401(60.85%)	208(31.56%)	42(6.37%)	4(0.61%)	4(0.61%)
1981—1990	393(59.64%)	218(33.08%)	42(6.37%)	3(0.46%)	3(0.46%)
1991—2000	350(53.11%)	250(637.94%)	49(7.44%)	4(0.61%)	6(0.91%)
2001—2010	382(57.97%)	223(33.84%)	45(6.83%)	3(0.46%)	6(0.91%)
年代	中国年代际大暴雨雨强等级/mm·d^{-1}				
	<105	105~120	120~135	135~150	>150
1951—1960	355(53.87%)	93(14.11%)	100(15.17%)	73(11.08%)	38(5.77%)
1961—1970	315(47.80%)	100(15.17%)	121(18.36%)	87(13.20%)	36(5.46%)
1971—1980	343(52.05%)	101(15.33%)	110(16.69%)	71(10.77%)	34(5.16%)
1981—1990	323(49.01%)	104(15.78%)	118(17.91%)	80(12.14%)	34(5.16%)
1991—2000	317(48.10%)	94(14.26%)	128(19.42%)	78(11.84%)	42(6.37%)
2001—2010	337(51.14%)	85(12.90%)	130(19.73%)	75(11.38%)	32(4.86%)
年代	中国年代际特大暴雨雨强等级/mm·d^{-1}				
	=0	<275	275~300	300~325	>325
1951—1960	625(94.84%)	15(2.28%)	8(1.21%)	5(0.76%)	6(0.91%)
1961—1970	617(93.63%)	20(3.03%)	9(1.37%)	7(1.06%)	6(0.91%)
1971—1980	614(93.17%)	20(3.03%)	9(1.37%)	7(1.06%)	9(1.37%)
1981—1990	628(95.30%)	13(1.97%)	6(0.91%)	2(0.30%)	10(1.52%)
1991—2000	610(92.56%)	16(2.43%)	11(1.67%)	10(1.52%)	12(1.82%)
2001—2010	604(91.65%)	25(3.79%)	13(1.97%)	7(1.06%)	10(1.52%)

注: 括号中的数字表示站点数占总站点数的比例

画,其本身的变化幅度远小于暴雨雨量和暴雨雨日. 因此,整体来看,中国年代际暴雨雨强在 1951—2010 年的空间分布格局变化不大.

中国年代际大暴雨雨强以"胡焕庸线"为界,以西大暴雨雨强基本都小于 105 mm/d,以东大于 105 mm/d. 呈现出更加显著的"东南高—西北低"的空间分布特征(图 12),且该分布格局随着年代推移并未有显著的变动. 从站点数目变化来看,大暴雨雨强小于 105、105~120 和大于 150 mm/d 的站点占总站点的比例分别从 1951—1960 的 53.87%、14.11% 和 5.77%(表 3),减少到了 2001—2010 的 51.14%、12.90% 和 4.86%;而大暴雨雨强介于 120~135 和 135~150 mm/d 的站点占总站点的比例从 1951—1960 到 2001—2010 分别增加了 4.56% 和 0.30%. 整体来看,中国年代际大暴雨雨强的站点随年代推移变化较小.

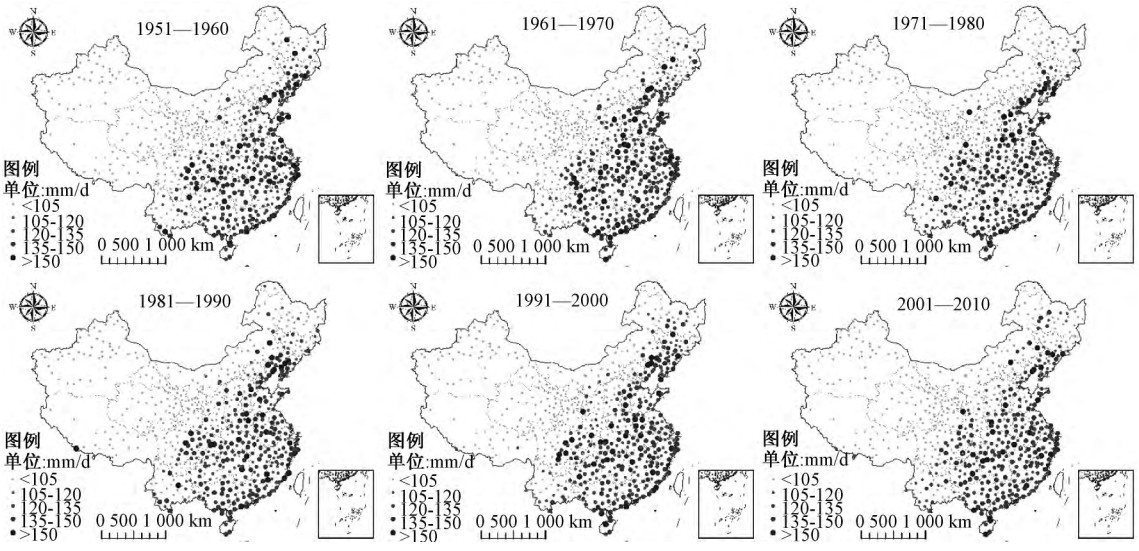


图 12 中国年代际大暴雨雨强时空格局变化(1951—2010)

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

中国年代际特大暴雨雨强从 1951—1960 到 2001—2010 随时间推移并未有显著的空间格局变化(图 13) . 就全国整体来看,仅有 4. 70% ~ 8. 35% 的站点发生过特大暴雨事件,且这些站点大都分布在海南、广东、广西等台风登陆频繁的地区和东部人类活动较为剧烈的城市化地区. 从站点数目变化来看,年代际特大暴雨雨强为 0 mm/d 的站点占总站点的比例从 1951—1960 到 2001—2010 减少了 3. 19% (表 3) ; 而小于 275、275 ~ 300、300 ~ 325 和大于 325 mm/d 的站点占总站点的比例则同比增加了 1. 51% 、0. 76% 、0. 30% 和 0. 61% .

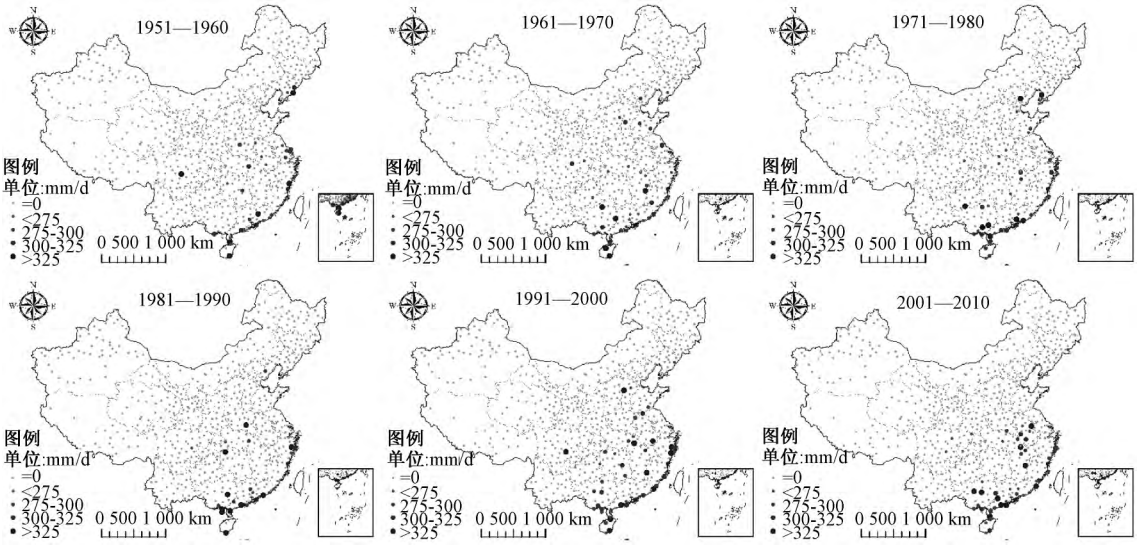


图 13　中国年代际特大暴雨雨强时空格局变化(1951—2010)

3　讨论和结论

3.1　讨　论

为了进一步完善不同强度暴雨的时空格局变化,并诊断自然和人文因素对暴雨变化的影响程度,未来应从以下三个方面深化相关的研究.

(1) 观测诊断和模式模拟并行开展暴雨研究. 暴雨时空变化格局的研究从阈值确定和指标选取出发,着眼于暴雨的总量、频次和强度在不同时空尺度上的演变特征[11-14] . 此外,限于长时间序列的高时空分辨率降水数据,暴雨时空变化格局的研究虽然在趋势变化具有一致性,但是在暴雨变化的绝对数量级上具有不确定性,尤其是气候模式模拟的暴雨变化具有很强的不确定性. 因此,亟需从观测诊断和模式模拟开展暴雨变化研究,双管齐下,将两者建立联系的统计降尺度方法在预测未来暴雨变化中将会有重要作用.

(2) 不同尺度和强度下的暴雨变化研究. 不同时空间尺度上的不同强度暴雨具有十分复杂的演变特征,通过对比可以深入了解暴雨动态变化以及可能会带来的潜在暴雨洪涝灾害风险[15-19] . 对于特定地区在不同时间尺度上开展不同强度暴雨演变特征的研究是暴雨灾害防灾减灾规划的前提和重要依据. 在不同时间尺度上的不同强度暴雨研究既需要在年代际、百年际和更长时间尺度上开展气候态的变化诊断,也需要在年际、季节、月际甚至小时尺度上深化暴雨研究,为单场暴雨的演变过程和暴雨灾害预警提供科学支撑. 对于特定时间段研究不同空间尺度上的不同强度暴雨演变特征,对于诊断暴雨变化的自然和人文影响因子归因具有重要意义[11,15-19] . 因此,亟待全面开展不同尺度和强度下的暴雨研究.

(3) 区域暴雨格局变化及其影响因素的可靠性评估. 区域暴雨时空格局变化及其影响因素分析的可靠性评估是目前暴雨地理研究中需要格外注意的地方,尤其是影响因素分析的可靠性有多高? 自然和人文因子引起的区域暴雨时空格局变化分别占多大比例? 我们认为可以考虑以下几个方面: 第一,利用各种统计方法计算; 第二,定量区分区域暴雨时空格局变化的自然变化和人类活动影响; 第三,对比各种方法包括模式模拟结果的合理性和可信度; 第四,与古气候时期和历时气候时期的暴雨作对比,进一步判断产生变化的原因. 目前限于科学水平和数据方法,还未有一种公认的可靠性评估方法. 因此,应

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

该多源方法对比分析.

3.2 结 论

综上可知 1951—2010 年中国年代际暴雨、大暴雨和特大暴雨的时空变化格局主要有以下几个特点:

(1) 在雨量上: 三种强度的暴雨雨量整体呈现出不同程度的增加趋势. 在时间上,1951—2010 年中国年代际暴雨和大暴雨雨量呈现出"迅速—平稳—再迅速"增加的特征,而特大暴雨雨量则"先增—后减—再增". 2001—2010 中国暴雨、大暴雨和特大暴雨雨量同比 1951—1960 分别增长了 42.76%、78.86%和 102.53%. 在空间上,中国年代际暴雨和大暴雨雨量呈现出"东南高—西北低"的空间分异格局,且随年代推移有从东南沿海向内陆地区推移的趋势. 而年代际特大暴雨雨量则主要以零星状分布在东南沿海及其毗邻的内陆地区. 中国年代际暴雨、大暴雨和特大暴雨雨量的高和低等级的站点数分别呈现增加和减少趋势,表明三种强度的暴雨雨量在朝着极端化方向发展.

(2) 在雨日上: 三种强度的暴雨雨日整体呈现出不同程度的增加趋势. 在时间上,1951—2010 年中国年代际暴雨和大暴雨雨日呈现出一致性增加趋势,而特大暴雨雨日则"先增—后减—再迅速增". 2001—2010 中国暴雨、大暴雨和特大暴雨雨日同比 1951—1960 分别增长了 33.52%、64.11% 和 102.33%. 在空间上,与雨量分布类似,年代际暴雨和大暴雨雨日也是"东南高—西北低"的空间分异特征,且随年代推移有从东南沿海向内陆地区推移的趋势. 而年代际特大暴雨雨日主要分布在东南沿海的地区,且随年代推移的变化不显著. 中国年代际暴雨、大暴雨和特大暴雨雨日的高和低等级的站点数分别呈现增加和减少趋势,表明三种强度的暴雨雨日在朝着极端化方向发展.

(3) 在雨强上: 相比雨量和雨日,雨强的年代际变化幅度较小,且特大暴雨雨强年代间的增减幅度较大. 在时间上,1951—2010 年中国年代际暴雨和大暴雨雨强呈一致性增加,而特大暴雨雨强则"先减—后增—再减". 2001—2010 中国暴雨、大暴雨和特大暴雨雨强同比 1951—1960 分别增长了 6.92%、8.99% 和 0.10%. 在空间上,中国年代际暴雨、大暴雨雨强呈现出以"胡焕庸线"为分界线的"东南高—西北低"的空间分布特征,且该格局随年代推移未有显著变动. 年代际特大暴雨雨强站点仅零星分布在东南地区,且随时间推移未有显著的空间变化.

参 考 文 献

[1] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980.

[2] 寿绍文. 天气学分析(第二版)[M]. 北京: 气象出版社,2006.

[3] Min S, Zhang X, Zwiers F, et al. Human contribution to more-intense precipitation extremes[J]. Nature, 2011, 470(7334): 378 – 381.

[4] O'Gorman P A. Sensitivity of tropical precipitation extremes to climate change[J]. Nature Geoscience, 2012,5(10): 697 – 700.

[5] IPCC SREX. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation[M]. London: Cambridge University Press, 2012.

[6] IPCC AR5. Intergovernmental panel on climate change climate change fifth assessment report (AR5)[M]. London: Cambridge University Press, 2013.

[7] 史书霞,罗晓辉,刘敏,等. 河北邯郸县抗御"2016.7.19"暴雨洪水经验与思考[J]. 中国防汛抗旱,2016(6): 83 – 85.

[8] Feng L, Zhou T, Wu B, et al. Projection of future precipitation change over China with a high-resolution global atmospheric model[J]. Advances in Atmospheric Sciences,2011,28(2): 464 – 476.

[9] Fu G, Yu J, Yu X, et al. Temporal variation of extreme rainfall events in China, 1961—2009[J]. Journal of Hydrology, 2013, 487: 48 – 59.

[10] Wentz F J, Ricciardulli L, Hilburn K, et al. How much more rain will global warming bring?[J]. Science, 2007, 317(5835): 233 – 235.

[11] 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,2014,29(11): 1281 – 1290.

[12] 孔锋,王铸,刘凡,等. 全球、大洲、区域尺度暴雨时空格局变化(1981—2010 年)[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版,2016,52(2): 228 – 234.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[13] 方建,杜鹃,徐伟,等. 气候变化对洪水灾害影响研究进展[J]. 地球科学进展,2014,29(9):1085-1093.
[14] 史培军,孔锋,叶谦,等. 灾害风险科学发展与科技减灾[J]. 地球科学进展,2014,29(11):1205-1211.
[15] 孔锋,方佳毅,刘凡,等. 1951—2012 年中国降水集中度和集中期的时空格局[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版,2015,4:404-411.
[16] 方佳毅,陈文方,孔锋,等. 中国沿海地区社会脆弱性评价[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版,2015,51(3):280-286.
[17] 陆大道. 中速增长: 中国经济的可持续发展[J]. 地理科学,2015,30(10):1207-1219.
[18] Zhai P, Sun A, Ren F, et al. Changes of climate extremes in China[J]. Climatic Change, 1999, 42(1):203-218.
[19] 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.

Decadal Spatio-temporal Changes of Different Intensity Rainstorms in China (1951—2010)

Kong Feng[1,2,3,4]　Lyu Lili[1,2]　Fang Jian[5]　Zhang Lili[1]　Wang Zhuoni[1]

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

Abstract

Frequent extreme rainfall events under the background of global climate change have caused terrible harm to economic and social development, life security, ecosystem, etc., which has brought profound impact on sustainable development of disaster area. Heavy rainfall has become a key factor of global and regional disasters and environmental risk, and has been widely concerned by academic community and most sectors of the society. We use 659 meteorological stations to calculate heavy rainfall, torrential rainfall and extraordinary heavy rainfall in amounts, days and intensity decade by decade. The heavy rainfall, torrential rainfall and extraordinary heavy rainfall in total amounts decrease. In time series, decadal heavy rainfall and torrential rainfall in amounts, days and intensity from 1951 to 2010 increase significantly, with uneven increase rate at different stages, which appear rapid increasing in the early and recent periods. On the spatial pattern, decadal heavy rainfall and torrential rainfall in amounts and days has obvious trend of expansion from southeast coast to northwest inland. However, decadal heavy rainfall and torrential rainfall in intensity has no obvious change. Decadal extraordinary heavy rainfall in amounts and days presents "first increased-reduction-then add" characteristics in time series. On the contrary, the intensity presents "first decreased-increased-then reduction". On the spatial pattern, decadal extraordinary heavy rainfall in amounts, days and intensity has no obvious change. Rainfall is going towards extremely in China which is the most likely result of the combined influence of human and natural factors.

Key words: heavy rainfall level, extraordinary heavy rainfall, regional difference, dynamic changes, China.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net