

1990—2019 年全球气象水文灾害演变特征

王毅^①, 张晓美^{②*}, 周宁芳^①, 胡争光^①, 李佳英^①, 吕阳^③, 王莹^③

① 中国气象局 国家气象中心, 北京 100081;

② 中国气象局 公共气象服务中心, 北京 100081;

③ 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044

* 联系人, E-mail: 49578165@qq.com

2021-01-07 收稿, 2021-04-07 接受

国家重点研发计划项目(2020YFE0201900; 2017YFC1502004); 国家自然科学基金资助项目(41975100)

摘要 根据全球紧急灾害数据库(EM-DAT), 利用 Mann-Kendall 趋势检验以及 Pettitt、Buishand 和 SNHT 突变检验等方法, 分析了 1990—2019 年全球及中国气象水文灾害的趋势及突变特征。结果表明: 1) 近 30 a 全球洪水灾害和极端气温灾害的发生频次呈显著的增加趋势; 全球洪水灾害年死亡人数呈显著的减少趋势, 而风暴灾害的年经济损失存在显著的上升趋势。2) 全球极端气温灾害和洪水灾害年发生频次均在 1999 年发生了突变; 2000 年以来极端气温灾害和洪水灾害平均发生频次约是前 10 a (1990—1999 年) 的 2 倍。3) 近 30 a 中国洪水灾害发生频次在 1999 年前后出现由少到多的转折, 但年死亡人数却在 1999 年前后出现反向转折; 相比于全球, 近 30 a 中国风暴灾害及洪水灾害年死亡人数的下降趋势更显著; 与全球类似, 中国风暴灾害的年经济损失呈长期增加趋势, 且增加趋势更显著, 并于 2012 年发生了突变。

关键词

气象水文灾害;
灾害数据库;
趋势分析;
突变检验

据统计, 全球约 90% 的自然灾害是由洪水、风暴、干旱、热浪和其他极端天气或水文事件造成的 (GAR, 2017; 李铭宇等, 2020)。在全球变化背景下, 全球及区域尺度上气象水文灾害的风险可能进一步增大 (王会军等, 2020; 周波涛等, 2020)。

灾害数据在灾害发生的各个阶段都起着非常重要的作用, 是防灾减灾重要的基础支撑条件之一 (Wirtz et al., 2014)。高质量、准确和具有可比性的灾害数据可为灾害监测预警、应急响应、风险评估及救灾决策提供充足和有效的信息, 从而提升人类社会对灾害的管理能力 (刘耀龙等, 2008; 王艳杰等, 2019)。在全球尺度上, 一些研究机构或保险公司建立了包含多种灾害的全球灾害数据库。对广泛和可靠信息数据的收集、验证、维护以及是否有统一的收录标准是促进灾害数据库被国际认可和广泛应用的重要基础。

很多学者基于全球灾害数据库对灾害事件的时

空分布及灾情指标进行了研究 (蒋卫国等, 2006; 司瑞洁等, 2007; Gall, 2015; Osuteye et al., 2017; Brakenridge, 2019; 刘甜等, 2019)。张霞和薛耀文 (2015) 利用比利时国家灾害流行病学研究中心 (CRED) 建立的全球紧急灾害数据库 (EM-DAT), 对 1900—2013 年全球灾害进行了统计分析。陈兴茹等 (2019) 采用 EM-DAT 数据分析了湄公河流域国家洪涝灾害损失的时空分布。姜彤等 (2020) 利用德国慕尼黑再保险公司建设的自然灾害数据库 (NatCat) 分析了“一带一路”区域气象灾害的时空变化特征。对于中国而言, 吴吉东等 (2014) 分析了 1949—2013 年中国气象灾害灾情的变化趋势。Han et al. (2016) 基于 EM-DAT 数据分析了 1985—2014 年中国自然灾害事件及损失的变化特征。

在全球变化背景下, 最近几十年全球气象水文灾害的变化趋势如何? 为弄清这一问题, 本文利用国际上广泛使用的全球灾害数据库, 对近 30 a 全球

引用格式: 王毅, 张晓美, 周宁芳, 等, 2021. 1990—2019 年全球气象水文灾害演变特征 [J]. 大气科学学报, 44(4): 496-506.

Wang Y, Zhang X M, Zhou N F, et al., 2021. Evolution characteristics of global meteorological and hydrological disasters from 1990 to 2019 [J]. Trans Atmos Sci, 44(4): 496-506. doi: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20210107001. (in Chinese).

包括中国的气象水文灾害的变化趋势进行了初步分析,以期加深对全球灾害发生发展规律的理解,并为防灾减灾提供科学依据和参考。

1 资料和方法

1.1 全球灾害数据库

目前国际上主要的全球灾害数据库包括比利时 CRED 的全球紧急灾害数据库 (EM-DAT; CRED, 2020), 德国慕尼黑再保险公司的自然灾害数据库 (Munich Re, 2011) 和瑞士再保险公司的数据库 (Swiss Re, 2010)。

EM-DAT、NatCat 和 Sigma 收录的灾害事件都以国家为单位。EM-DAT 最初主要是为国际人道主义行动提供服务,更多关注的是重大灾害事件及其对社会的影响。NatCat 和 Sigma 的管理机构都是保险公司,注重评估灾害的经济损失包括保险方面的损失。EM-DAT 数据库是免费开放的,可以通过注册后下载,而 NatCat 和 Sigma 仅提供相关图产品的浏览或定期发布报告等。

由于可获得性,EM-DAT 是国际上应用最广泛的全球灾害数据库,包含了 1900 年以来的全球自然灾害及技术灾害事件。其次,由于 EM-DAT 的收录标准明晰和固定,适合在全球范围上开展灾害变化趋势的分析和比较。

EM-DAT 收录的灾害事件的分类是参考灾害风险分类综合研究 (Integrated Research on Disaster Risk, 2014) 的分级方法,其中自然灾害组分为地质、气象、水文、气候、生物及外太空灾害 6 个子组,进一步划分为 17 个灾害类型,每个类型又分为子类型和子子类型。表 1 给出了 EM-DAT 数据库中气象、气候和水文子组灾害的具体分类。为表述简便,本文中提到的“气象水文灾害”也包含气候灾害,简称为 MHD。

EM-DAT 数据库中每条灾害事件的记录主要包含了灾害发生所在国家等地理信息、灾害起止时间、灾害成因、相关灾害(次生灾害)以及灾害的人口损失和评估的经济损失。人口损失包括因灾死亡人数、失踪人数、受伤和无家可归人数等。经济损失是指灾害造成的直接损失和间接损失的估计值,以美元为单位。

EM-DAT 对灾害事件设定了收录标准,即进入数据库的灾害事件须至少满足 3 个条件之一:1) 有 10 人或以上人口因灾死亡;2) 有 100 人或以上人口受到灾害影响;3) 当地政府针对灾害事件宣布了紧

急状态或请求国际援助。

表 1 EM-DAT 数据库中气象水文灾害类型分类

Table 1 Classification of meteorological and hydrological disasters in EM-DAT database

分组	灾害类型	灾害子类型
	极端气温	寒潮、热浪、极端冬季天气
气象	雾	
	风暴	副热带气旋、热带气旋、对流风暴
	干旱	
气候	冰湖溃决	
	野火	森林野火、地面野火、城市野火
	洪水	海岸洪水、河流洪水、暴洪、冰湖溃决
水文	滑坡	雪崩、滑坡、沉陷、岩崩、泥石流
	海(湖)浪作用	巨浪、潮浪

已有研究表明,灾害数据库越是早期的记录,信息可靠性相对越差(吴吉东等,2014)。从 20 世纪 80 年代,特别是 90 年代开始,不同全球灾害数据库反映的灾情信息一致性更好,可靠度更高 (Guha-Sapir and Below, 2002)。本文以 1990—2019 年为研究时段,根据 EM-DAT 数据库中记录的 MHD 事件,分类对灾害的发生次数、死亡人数和总经济损失的年序列进行时间变化特征研究。

1.2 研究方法

采用在气象水文时间序列趋势分析中广泛使用的非参数 Mann-Kendall (M-K) 检验法 (Kendall, 1975)。该方法的优点是不需要预先假定样本的分布,且对异常值不敏感。M-K 检验的 Z 统计量服从正态分布,当 Z 统计量为正,表明序列呈上升趋势,Z 统计量为负,表示序列呈下降趋势。当 Z 的绝对值大于 1.96 和 2.58 时,分别表示其通过了 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 显著性水平的检验。M-K 检验能够分析出序列中是否存在线性趋势及显著性,但不能给出趋势幅度的大小。通过 Sen 斜率检测法 (Sen, 1968) 可以估计序列变化趋势的数值程度大小。

突变分析旨在考察时间序列中是否存在显著的突变点。本文综合运用 Pettitt (Pettitt, 1979)、Buishand (Buishand, 1982) 和 SNHT (标准正态均一性检验) (Alexandersson and Moberg, 1997) 突变检验法对 MHD 各灾情指标的年际序列进行分析。这三种方法的零假设 H_0 都是序列为独立、同分布,备择假设 H_1 是序列存在平均值的逐步转变(即突变

点)。同时,这三种方法均可以定位到突变发生的时间,并且能够给出显著性检验的 P 值。

三种突变检测方法也存在一定的差异。SNHT 检验可以较容易地检测出序列在前后末端的突变点,而 Pettitt 和 Buishand 检验对于序列中部的突变点更加敏感。另外,Pettitt 检验是非参数秩检验法,是对基于原始序列所获得的秩进行统计分析,因而不需要序列服从特定的分布,SNHT 和 Buishand 检验则要求序列尽可能地服从正态分布。Pettitt 检验相比其他两种方法不易受异常值的影响。三种突变检验方法的公式及统计检验的临界值详见文献 (Ilori and Ajay, 2020)。

为获得具有可比性的灾害经济损失年际序列,参考 Han et al.(2016)的方法,以 2019 年为基准年,对 EM-DAT 中的灾害经济损失数据进行了居民消费者物价指数 (CPI) 标准化处理,避免物价因素对经济损失变化趋势的影响。

2 全球气象水文灾害时间变化分析

经统计,1990—2019 年 EM-DAT 数据库共收录了全球 8 927 次 MHD 事件,按照表 1 中的 9 个灾害类型分类,近 30 a 记录了全球极端气温灾害 524

表 2 1990—2019 年全球气象水文灾害各指标的线性趋势检验结果

Table 2 Linear trend test results of indices of global meteorological and hydrological disasters from 1990 to 2019

灾害类型	年发生次数		年死亡人数		年经济损失	
	Z 统计量	Sen 斜率	Z 统计量	Sen 斜率	Z 统计量	Sen 斜率
极端气温	2.343 ¹⁾	0.35	1.499	35.45	-0.649	-2 628
风暴	1.340	0.56	-1.463	-82.86	2.391 ¹⁾	1 348 263
干旱	0.573	0.08	-0.765	0	0.500	56 384
野火	0.448	0.06	0.892	0.95	1.427	75 432
洪水	3.516 ²⁾	3.35	-1.963 ¹⁾	-92.45	0.178	75 922
滑坡	1.093	0.15	-0.714	-6.5	-0.341	-526

注:1)和 2)分别表示趋势通过 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。

其次,运用 Pettitt、Buishand 和 SNHT 检验对灾情指标开展突变分析。表 3 给出了三种突变检验方法的统计量和识别出的显著突变年。对于极端气温灾害,三种方法都检测出长期序列存在突变点(均通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验),并且识别出的突变点都是 1999 年。全球洪水灾害发生频次也存在明显的突变(均通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验),而且同样都以 1999 年为突变年。三种方法中仅 Buishand 检验识别出全球野火灾害发生次数存在显著突变。据此可判断,全球 6 种 MHD 中,极端气温

次、风暴灾害 2 942 次、干旱灾害 475 次、野火灾害 341 次、洪水灾害 4 119 次,滑坡灾害 526 次,而雾、海(湖)浪作用和冰湖溃决灾害都为 0 次。洪水和风暴是近 30 a 来全球最为频繁两种灾害,分别占所有 MHD 灾害次数的 46%和 33%。

2.1 线性趋势及突变

首先,利用 M-K 检验和 Sen 斜率估计方法检测了 6 种 MDH 灾害各指标的线性趋势。如表 2 所示,1990 年以来各灾害发生频次均呈上升状态(Z 统计量为正)。其中,极端气温和洪水灾害的上升趋势分别通过了 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 的显著性检验,Sen 斜率估计的增加速率分别约为 0.4 次/a 和 3.4 次/a。

人口损失方面,近 30 a 大多数 MHD(除极端气温和野火外)的年死亡人数呈下降趋势,以洪水灾害的年死亡人数下降最为明显(通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验),下降速率约 92 人/a。大部分类型的 MHD 的年经济损失呈增加态势,以风暴灾害经济损失的增加趋势最为明显(通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验),增加速率约 13.5 亿美元/a。此外,野火灾害发生频次尽管最少,但其各项指标特别是经济损失长期来看表现出一定的增加趋势。

和洪水灾害的发生频次在 1999 年出现了显著的突变。

图 1a 为全球极端气温灾害发生次数的 Pettitt 检验结果。Pettitt 检验的统计值随时间先下降后上升,在 1999 年达到最小值-170,对应表 3 中取绝对值后的 Pettitt 统计量,超过了 $\alpha=0.01$ 的临界值,表明全球极端气温灾害发生频次在 1999 年前后存在显著的突变。类似地,Buishand 和 SNHT 检验的统计量也在 1999 年取得最小值(绝对值最大值)(图略)。

表 3 1990—2019 年全球气象水文灾害发生频次的突变检验结果

Table 3 Abrupt change test results of frequency of global meteorological and hydrological disasters from 1990 to 2019

灾害类型	Pettitt		Buishand		SNHT	
	统计量	突变年	统计量	突变年	统计量	突变年
极端气温	170	1999 年 ¹⁾	1.679	1999 年 ¹⁾	10.253	1999 年 ¹⁾
风暴	98		1.260		4.523	
干旱	101		1.341		6.542	
野火	105		1.725	1996 年 ²⁾	5.076	
洪水	200	1999 年 ²⁾	2.093	1999 年 ²⁾	19.709	1999 年 ²⁾
滑坡	85		1.017		7.453	

注:1)和 2)分别表示突变年通过 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 的显著性检验.

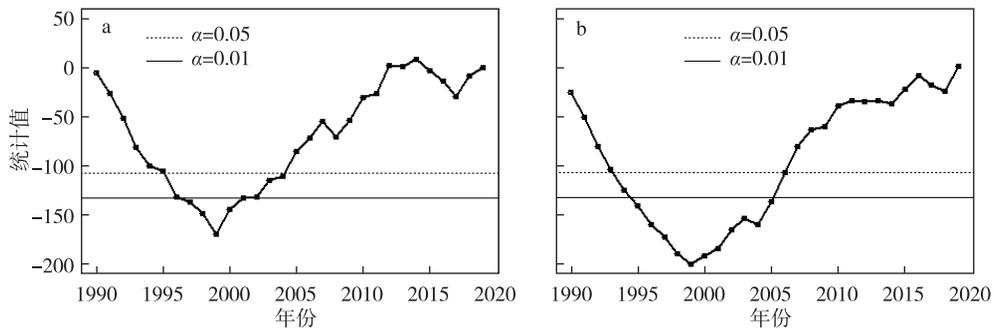


图 1 1990—2019 年全球极端气温灾害(a)和洪水灾害(b)发生频次的 Pettitt 检验结果(虚线和实线分别表示通过 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 显著性检验的临界值)

Fig.1 Pettitt test results of frequency of global (a) extreme temperature and (b) flood disasters from 1990 to 2019 (Dashed and solid lines indicate critical values passing significance test at $\alpha=0.05$ and $\alpha=0.01$, respectively)

同样地,全球洪水灾害发生次数的 Pettitt 检验统计值也在 1999 年取得最小值(图 1b)。相比于极端气温灾害,洪水灾害的 Pettitt 检验统计量更大,达到了 200。同时,Buishand 和 SNHT 检验识别出的突变点的 P 值都接近于 0,说明突变是非常显著的。综合三种方法可以判断,全球洪水灾害的发生次数在 20 世纪末的突变特征相比极端气温灾害更为突出。

对各类 MHD 的年死亡人数和年经济损失序列也进行了突变分析。结果表明,三种统计方法都未检测出死亡人数存在显著的突变点。对于经济损失,仅有 Pettitt 检验识别出风暴灾害在 2003 年存在突变,SNHT 检验识别出野火灾害在 2016 年存在突变。综合分析可以认为,1990—2019 年全球各类 MHD 的年死亡人数和年经济损失总体上不存在显著的突变。

以上分析表明,EM-DAT 记录的全球极端气温和洪水灾害的发生次数不仅随时间显著增加,而且也存在着显著的突变。图 2a 为近 30 a 全球极端气

温发生次数的时间变化曲线,并叠加了突变前后的平均值。由图 2a 可知,1990—1999 年极端气温灾害相对较少,平均每年发生 9.2 次,而 2000—2019 年平均每年出现 21.6 次,大约是前 10 a 的 2.3 倍。

与极端气温灾害相似,全球洪水灾害也在 1999 年左右出现从少到多的转折性突变(图 2b),2000 年以来平均每年出现 162.7 次,约是 1990—1999 年平均发生频次的 1.9 倍。洪水灾害发生高峰期为 2006 年和 2007 年,分别为 226 次和 218 次。2010 年以后,洪水灾害的发生频次有所减少。

M-K 检验表明全球洪水灾害的年死亡人数呈显著下降,从时间柱状图(图 3a)上可见,20 世纪 90 年代洪灾死亡人数缓慢增加,1999 年达到峰值(约 3.48 万人),约为中位数(0.58 万人)的 6 倍。这主要是由于极端事件引发的重大灾害所导致,1999 年 12 月委内瑞拉一次由暴雨泥石流引发的洪水灾害就造成了约 3 万人死亡。2000 年以来,洪灾死亡人口数起伏变化中逐步下降。

近 30 a 风暴灾害的经济损失中位数为 4.2 百

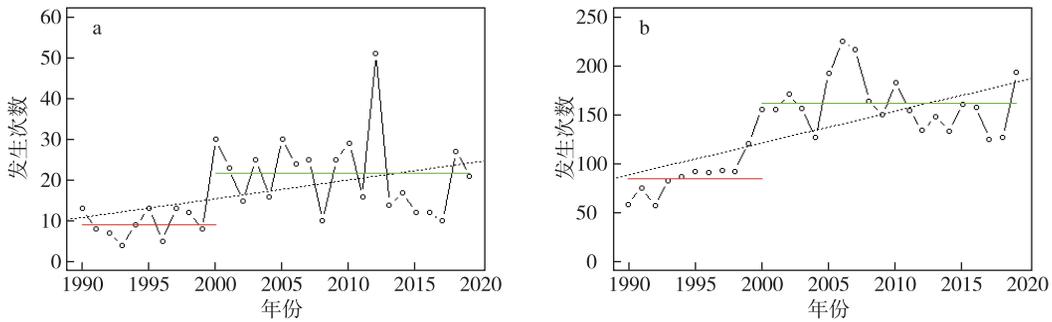


图2 1990—2019年全球极端气温灾害(a)和洪水灾害(b)的发生频次(虚线为线性拟合线,红色、绿色实线分别为突变前后的平均值)

Fig.2 Frequencies of global (a) extreme temperature and (b) flood disasters from 1990 to 2019 (Dashed line is the linear fitting line, and red and green solid lines are the average values before and after the abrupt change)

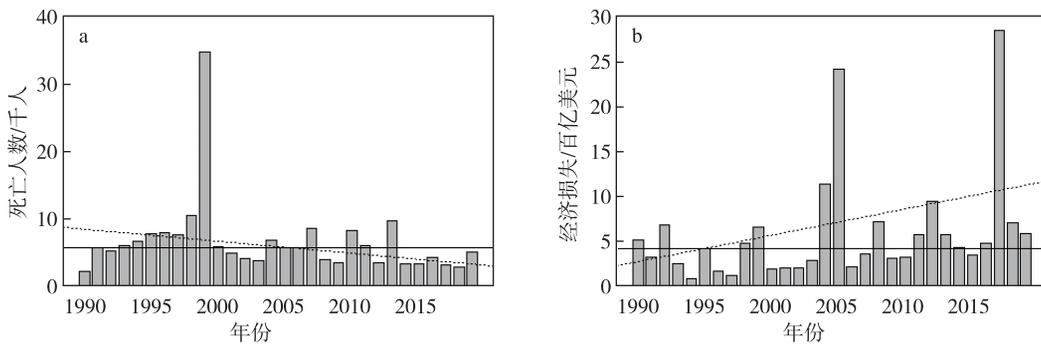


图3 1990—2019年全球洪水灾害死亡人数(a)和风暴灾害经济损失(b)(虚线为线性拟合线,实线为中位数)

Fig.3 (a) Death toll of global flood disasters and (b) economic loss of global storm disasters from 1990 to 2019 (Dashed line is the linear fitting line, and solid line is the median)

亿美元,年经济损失长期呈上升趋势(图3b),2017年和2005年分别是近30a经济损失最多(2.8千亿)和第二多(2.4千亿)的年份。

2.2 年代际变化

由前面的分析可知,某些灾害(如洪水灾害)可能存在着年代际变化。为了更清楚地揭示10a变化特征,结合突变分析的结果,以1990—1999年、2000—2009年、2010—2019年为时间段对全球MHD的灾情指标进行累加,结果如图4。

从灾害发生次数(图4a)来看,各MHD发生次数按10a呈先上升后略有下降的态势,但下降幅度较小。比较各10a变化发现,2000—2009年的洪水灾害相较于1990—1999年增幅非常明显,与前面分析得到的1999年是突变年较为一致。

在灾害损失方面,2000—2009年是极端气温灾害死亡人口和经济损失最高的10a,其总死亡人数(约9万人)约是1990—1999年的10倍。这主要是由于2003年全球极端气温灾害死亡约7.5万人所导致的。比较各类灾害可以发现,风暴灾害在1990—1999年死亡人数是最多的,达到21.1万人。

这与多次重特大灾难造成的重大伤亡有关,EM-DAT数据库记录的1991年热带气旋风暴“高尔基”导致孟加拉国超过13万人死亡,占当年全球风暴灾害死亡人数的95%。1998、1999年全球风暴灾害死亡人数分别超过了2万人和1万人,2000年以后除2008年发生了一次特大风暴灾害以外,其余年份平均风暴灾害人口损失较少(约3千人)。

除极端气温外,其余灾害在2010—2019年间导致的经济损失都高于2000—2009年。风暴灾害的经济损失按10a稳步递增,与线性增加趋势较一致,最近10a造成了全球约7.9千亿美元的损失。此外,干旱和野火灾害在近年来的影响也不能忽视。2010—2019年干旱灾害死亡人数和经济损失均为三个10a中最高。野火灾害最近10a的经济损失(约6.4百亿美元)较2000—2009年增加了1倍多。

进一步以大洲为尺度分析年代际变化背景下风暴灾害和洪水灾害的空间分布特征。近30a风暴灾害总频次由多到少依次为亚洲、美洲、欧洲、非洲和大洋洲。其中,亚洲风暴灾害发生次数按每10a逐步增加,非洲风暴灾害频次在近20a超过了大洋

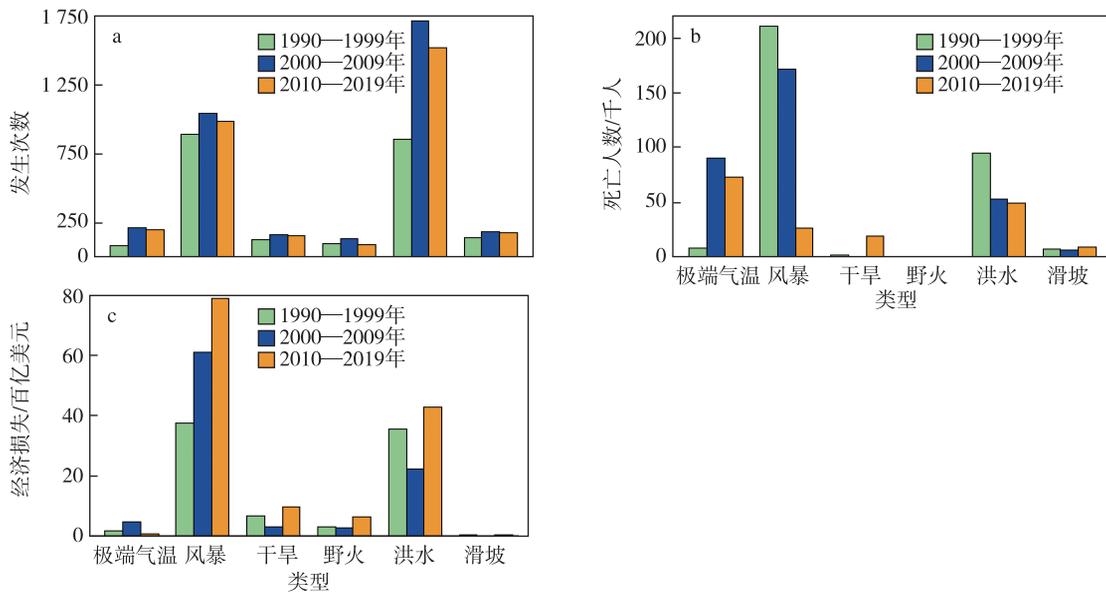


图 4 1990—2019 年逐 10 a 累计的全球气象水文灾害的发生频次(a)、死亡人数(b)和经济损失(c)

Fig.4 (a)Frequency, (b)death toll and (c) economic loss of global meteorological and hydrological disasters accumulated by 10 years from 1990 to 2019

洲。近 30 a 洪水灾害总频次由多到少依次是亚洲、非洲、美洲、欧洲和大洋洲,这一空间格局未发生明显改变。

图 5 分别给出了风暴灾害和洪水灾害逐 10 a 各大洲死亡人数占全球相应灾害死亡人数的比例。亚洲是风暴灾害和洪水灾害死亡人口最多的大洲。虽然亚洲洪水灾害死亡人数呈下降趋势,但占全球的比例按逐 10 a 在升高。值得指出的是,非洲风暴灾害和洪水灾害死亡人数占全球的比例都呈升高态势,近 10 a 非洲风暴灾害死亡人数在数量上超过了前 20 a 的总和,而其洪水灾害死亡人数在近 20 a 均多于美洲。

3 中国气象水文灾害时间变化分析

以上基于 EM-DAT 数据库分析了近 30 a 全球 MHD 的变化趋势和突变特征,下面进一步针对中国的灾害进行分析。EM-DAT 收录了同期发生在中国的 MHD 共计 721 次,占全球总 MHD 次数的 8%。其中,极端气温灾害 14 次、风暴灾害 351 次、干旱灾害 31 次、野火灾害 5 次、洪水灾害 255 次、滑坡灾害次 65 次。与全球类似,风暴和洪水灾害居所有 MHD 灾害的前两位,两者累积约占 MDH 总次数的 84%。全球范围上,近 30 a 洪水灾害最多,但中国近 30 a 风暴灾害最为频繁。

下面对灾害事件样本量较充足的风暴和洪水这

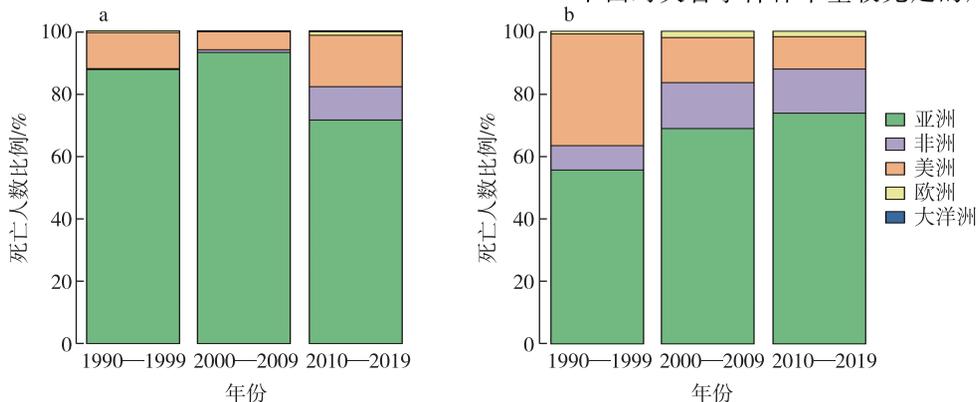


图 5 1990—2019 年逐 10 a 累计的各大洲风暴灾害(a)和洪水灾害(b)的死亡人数占全球的比例

Fig.5 Proportion of death toll caused by (a) storm disasters and (b) flood disasters accumulated by 10 years on each continent in the world from 1990 to 2019

两类灾害进行重点分析。表4为线性趋势检验的结果,可以看出,两类灾害发生次数的M-K检验Z统计量都为正,说明都存在上升趋势,洪水灾害的上升趋势更为显著,通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。对比表3可以看出,近30a中国洪水灾害频次的上升趋势略弱于全球。

从表4中还可以发现,1990—2019年中国风暴

表4 1990—2019年中国风暴灾害和洪水灾害各指标的线性趋势检验结果

Table 4 Linear trend test results of indices of storm disasters and flood disasters in China from 1990 to 2019

灾害类型	年发生次数		年死亡人数		年经济损失	
	Z统计量	Sen斜率	Z统计量	Sen斜率	Z统计量	Sen斜率
风暴	1.26	0.15	-2.53 ¹⁾	-13.3	2.82 ²⁾	244 095
洪水	3.12 ²⁾	0.25	-2.91 ²⁾	-36.1	0.50	77 310

注:1)和2)分别表示趋势通过 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。

其次,利用Pettitt、Buishand和SNHT检验对1990—2019年中国风暴、洪水的灾情指标进行了突变分析。表5显示,三种方法都检测出中国洪水灾害的频次在1999年出现了突变(通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验)。对于洪水灾害死亡人数,三种检验

表5 1990—2019年中国风暴灾害和洪水灾害各指标的突变检验结果

Table 5 Abrupt change test results of indices of storm disasters and flood disasters in China from 1990 to 2019

灾害类型	年发生次数			年死亡人数			年经济损失		
	Pettitt	Buishand	SNHT	Pettitt	Buishand	SNHT	Pettitt	Buishand	SNHT
风暴							2012年 ¹⁾	2012年 ²⁾	2012年 ²⁾
洪水	1999年 ¹⁾	1998年 ¹⁾							

注:1)和2)分别表示突变年通过 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。

图6a为1990—2019年中国洪水灾害的发生次数时间变化曲线。1990—1999年平均每年发生5次左右,2000—2019年增加了约1倍。洪水灾害频次峰值在2006年(21次)。从死亡人数(图6b)来看,洪水灾害人口损失在1990—1999年较大,特别是1998年和1996年,因灾死亡人数都在4千人以上,随后人口损失数量急剧下降,2000—2019年平均每年死亡人数(约600人)大约是前10a的1/3。

图7a给出的是1990—2019年中国风暴灾害的发生次数年际变化,可以看出,风暴灾害频次的年际波动较为明显,总体上表现出弱的上升趋势($P>0.05$)。然而风暴灾害的经济损失则呈显著上升趋势($P<0.01$)(图7b)。与突变检验一致,2012年以后风暴灾害经济损失出现明显增长,2012年以前平均每年经济损失为33.6亿美元,2013—2019年平均每年经济损失达到103.8亿美元,约为1990—

和洪水灾害的年死亡人数的下降趋势非常明显,分别通过了 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。对比中国和全球的风暴、洪水灾害的Z统计量可知,中国风暴、洪水灾害死亡人数下降趋势更显著。经济损失方面,中国风暴灾害的经济损失呈显著上升的趋势(通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验),并且比全球的上升趋势更显著。

方法都识别出突变年在1999年附近,可以认为1999年是显著的突变年。另外,三种方法都一致地检测出风暴灾害经济损失的突变年是2012年,其中两种方法识别出的突变点都通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。

2012年平均值的3倍。风暴灾害经济损失在2012年之后增加可能有几个方面的原因:首先,灾害经济损失与致灾风暴次数有关,2013年以后除2019年以外每年风暴灾害都在14次及以上,特别是2013—2015年平均每年有19次风暴灾害。根据EM-DAT数据库,2006—2019年造成经济损失(经CPI标准化处理后)最多的前20次风暴灾害出现在2012年以后的有14次,其中12次是由热带气旋造成的。随着社会发展,热带气旋灾害造成的直接经济损失也呈增加趋势。王德运等(2020)研究了2004—2016年中国热带气旋灾害经济损失的时空特征,也发现2012年以后热带气旋造成的经济损失较2006—2011年明显增加。

4 结论和讨论

1)利用M-K检验分析了6种气象水文灾害的

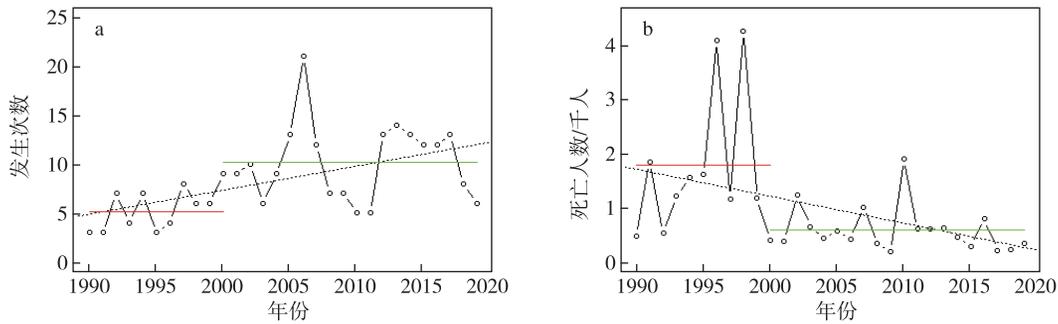


图6 1990—2019年中国洪水灾害发生频次(a)和死亡人数(b)(虚线为线性拟合线,红色、绿色实线分别为突变前后的平均值)

Fig.6 (a) Frequency and (b) death toll of flood disasters in China from 1990 to 2019 (Dashed line is the linear fitting line, and red and green solid lines are the average values before and after the abrupt change)

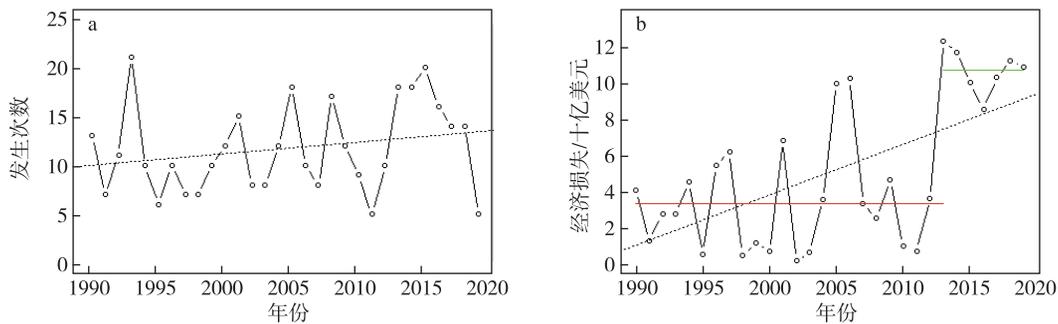


图7 1990—2019年中国风暴灾害的发生频次(a)和经济损失(b)(虚线为线性拟合线,红色、绿色实线分别为突变前后的平均值)

Fig.7 (a) Frequency and (b) economic loss of storm disasters in China from 1990 to 2019 (Dashed line is the linear fitting line, and red and green solid lines are the average values before and after the abrupt change)

线性趋势,结果表明,近30 a全球洪水灾害和极端气温灾害的发生次数呈显著上升趋势,分别通过了 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 的显著性检验,上升速率分别为3次/a和0.4次/a。但是,洪水灾害导致的死亡人数却显著下降。此外,全球风暴灾害的经济损失长期表现出显著上升趋势。

2)综合运用Pettitt、Buishand和SNHT检验分析了全球气象水文灾害时间序列的突变特征。三种方法都一致地检测出全球极端气温灾害和洪水灾害在1999年发生了从少到多的转折性突变,以洪水灾害的突变尤为明显(通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验)。2000—2019年平均每年洪水(极端气温)灾害发生次数大约是1990—1999年的2倍。

3)1990—2019年全球气象水文灾害发生次数按10 a呈先增加后略减少的态势。2000—2009年洪水灾害发生次数相较于1990—1999年增幅非常明显,与突变分析的结果一致。风暴灾害的经济损失按10 a稳步递增,造成的全球经济损失在最近10 a约7.9千亿美元。亚洲是风暴灾害和洪水灾害死亡人口最多的大洲。非洲风暴灾害和洪水灾害死亡

人数占全球的比例呈升高态势。

4)EM-DAT记录了近30 a中国的气象水文灾害共721次,占全球总数的8%。1990—2019年中国洪水灾害频次的上升趋势略弱于全球,并且在1999年发生了由少到多的突变,因灾死亡人数也在1999年发生了突变,但趋势相反。

5)中国近30 a洪水及风暴灾害死亡人数下降的趋势相比于全球尺度上更显著。此外,中国风暴灾害的经济损失呈显著上升的趋势(通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验),较全球更为显著。突变分析表明,2012年是中国风暴灾害经济损失的突变年。

洪水等气象水文灾害成因复杂,致灾因子众多,并且与人类活动和环境密切相关。本文基于EM-DAT数据库指出全球极端气温和洪水灾害频次在1999年之后年代际增加。在全球变化背景下,极端天气事件事件频次增多、强度变强可能是导致气象水文灾害增加的重要原因。另一方面,年代际增多还可能与数据库的收录标准有关。EM-DAT数据库对灾害事件的收录标准是满足3个条件之一即可。分析可知,对于全球洪水灾害,2000—2009年满足条件1

(10人以上人口因灾死亡)的洪水灾次是1990—1999年的1.5倍,而2000—2009年仅满足条件2(100人以上人口受到灾害影响)的洪水灾次是1990—1999年的2.8倍,说明无死亡但有影响的洪水事件较前10 a增加更明显。随着灾害监测、灾情统计、媒体宣传等的发展,对灾害事件特别是小型或影响程度较轻的灾害的统计可能更加全面。

Han et al.(2016)基于EM-DAT数据库分析了1985—2014年中国自然灾害的时空变化趋势,相关结论指出中国洪水和风暴灾害的发生次数呈显著上升趋势,并且洪水灾害发生频次在2000年左右发生了突变,本文的结论基本与此一致。林建等(2014)研究指出20世纪90年代我国暴雨过程相对偏少,2000—2010年暴雨过程明显偏多,强降水这一重要致灾因子可能是造成我国洪水灾害事件增多的原因。同时,与全球洪水灾害类似,2000年以来EM-DAT收录的中国无死亡但有影响的洪水事件较前10 a增加明显。此外,相比于我国20世纪90年代大江大河洪水灾害较多,近年来中小河流及山洪灾害呈多发特征(Duan et al.,2006)。郭良等(2017)

研究表明,2000年以来我国山洪灾害次数(包括无人员伤亡的山洪次数)增加显著,这也是造成总洪水灾害次数增加的可能原因。实际上,序列的变化趋势跟所选样本及其时段密切相关。例如,本文发现中国风暴经济损失在1990—2019年表现出显著上升趋势,特别是2012年以后出现了突变,由于时段不同,Han et al.(2016)检测到的风暴灾害经济损失上升趋势不显著。

由于数据可获得性,本文所用的数据来源于EM-DAT数据库,需要注意其特点及局限性(Kron et al.,2012)。如前所述,进入EM-DAT数据库的灾害事件必须满足一定的条件,即不是实际发生的每个灾害事件都记录,EM-DAT数据侧重于收录中等或重大灾害事件,而一些小规模或程度较轻的灾害事件则无法被收录,因此本文基于EM-DAT数据库得到的变化趋势结果可能与实际存在一定的偏差,有待将来获取更多的数据开展校核。最后,本文揭示的不同类型气象水文灾害变化的新特征有助于为全球或国家层面上制定相应的防灾减灾政策或措施提供一定的参考。

参考文献(References)

- Alexandersson H, Moberg A, 1997. Homogenization of Swedish temperature data. part I: homogeneity test for linear trends[J]. *Int J Climatol*, 17(1): 25-34. doi: 10. 1002/(sici)1097-0088(199701)17:1<25:aid-joc103>3.0.co;2-j.
- Brakenridge G R, 2019. Global active archive of large flood events[R]. Colorado: Dartmouth Flood Observatory, University of Colorado.
- Buishand T A, 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records[J]. *J Hydrol*, 58(1/2): 11-27. doi: 10. 1016/0022-1694(82)90066-X.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters(CRED), 2020. Emergency events database(EM-DAT). [2021-05-23]. <https://www.emdat.be>.
- 陈兴茹, 王兴勇, 白音包力皋, 2019. 1962年以来渭公河流域国家洪灾损失时空分布分析[J]. *灾害学*, 34(1): 113-116.
- Chen X R, Wang X Y, Baiyinbaoligao, 2019. Analysis of spatial and temporal distribution of flood losses in Mekong river basin since 1962[J]. *J Catastrophology*, 34(1): 113-116. doi: 10. 3969/j. issn. 1000-811X. 2019. 01. 021. (in Chinese).
- Duan W L, He B, Nover D, et al., 2016. Floods and associated socioeconomic damages in China over the last century[J]. *Nat Hazards*, 82(1): 401-413. doi: 10. 1007/s11069-016-2207-2.
- Gall M, 2015. The suitability of disaster loss databases to measure loss and damage from climate change[J]. *Int J Glob Warming*, 8(2): 170. doi: 10. 1504/ijgw. 2015. 071966.
- GAR, 2017. Global assessment report on disaster risk reduction[R]. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- Guha-Sapir D, Below R, 2002. The quality and accuracy of disaster data: a comparative analyse of three global data sets[R]. *Disaster Management facility*, World Bank; 3-18.
- 郭良, 张晓蕾, 刘荣华, 等, 2017. 全国山洪灾害调查评价成果及规律初探[J]. *地球信息科学学报*, 19(12): 1547-1556.
- Guo L, Zhang X L, Liu R H, et al., 2017. Achievements and preliminary analysis on China national flash flood disasters investigation and evaluation[J]. *J Geo-Inf Sci*, 19(12): 1547-1556. doi: 10. 3724/SP.J.1047. 2017. 01548. (in Chinese).
- Han W X, Liang C, Jiang B F, et al., 2016. Major natural disasters in China, 1985—2014: occurrence and damages[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 13(11): E1118. doi: 10. 3390/ijerph13111118.
- Integrated Research on Disaster Risk, Peril Classification and Hazard Glossary, 2014. *Integrated Research on Disaster Risk*[C]. Beijing.
- Ilori O W, Ajayi V O, 2020. Change detection and trend analysis of future temperature and rainfall over west Africa[J]. *Earth Syst Environ*, 4(3): 493-512. doi: 10. 1007/s41748-020-00174-6.
- 姜彤, 谈科, 王艳君, 等, 2020. “一带一路”区域气象灾害时空变化特征[J]. *科技导报*, 38(8): 57-65.
- Jiang T, Tan K, Wang Y J, et al., 2020. Spatial-temporal variation of meteorological disasters in the “Belt and Road” regions[J]. *Sci Technol Rev*, 38(8): 57-65. (in Chinese).

- 蒋卫国,李京,王琳,2006.全球1950—2004年重大洪水灾害综合分析[J].北京师范大学学报(自然科学版),42(5):530-533. Jiang W G,Li J,Wang L,2006.Compositive analysis of global flood disaster from 1950 to 2004[J].J Beijing Norm Univ Nat Sci,42(5):530-533.doi:10.3321/j.issn:0476-0301.2006.05.023.(in Chinese).
- Kendall M G,1975.Rank correlation methods[M]//Charles Griin book series.London:Arnold Press.
- Kron W,Steuer M,Löw P,et al.,2012.How to deal properly with a natural catastrophe database:analysis of flood losses[J].Nat Hazards Earth Syst Sci,12(3):535-550.doi:10.5194/nhess-12-535-2012.
- 李铭宇,韩婷婷,郝鑫,2020.欧亚大陆极端降水事件的区域变化特征[J].大气科学学报,43(4):687-698. Li M Y,Han T T,Hao X,2020.Regional characteristics of extreme precipitation events in Eurasia[J].Trans Atmos Sci,43(4):687-698.doi:10.13878/j.cnki.dqkxb.20191202001.(in Chinese).
- 林建,杨贵名,2014.近30年中国暴雨时空特征分析[J].气象,40(7):816-826. Lin J,Yang G M,2014.Spatio-temporal characteristics of rainstorm in China during 1981—2010[J].Meteor Mon,40(7):816-826.doi:10.7519/j.issn.1000-0526.2014.07.005.(in Chinese).
- 刘甜,方建,马恒,等,2019.全球陆地气候气象及水文灾害死亡人口时空格局及影响因素分析(1965—2016年)[J].自然灾害学报,28(3):8-16. Liu T,Fang J,Ma H,et al.,2019.Spatiotemporal patterns and influencing factors of mortality of climatological-meteorological-hydrological disaster in the world(1965—2016)[J].J Nat Disasters,28(3):8-16.doi:10.13577/j.jnd.2019.0302.(in Chinese).
- 刘耀龙,许世远,王军,等,2008.国内外灾害数据信息共享现状研究[J].灾害学,23(3):109-113,118. Liu Y L,Xu S Y,Wang J,et al.,2008.A study on the present status of disaster data and information sharing at home and abroad[J].J Catastrophology,23(3):109-113,118.doi:10.3969/j.issn.1000-811X.2008.03.024.(in Chinese).
- Munich Re,2011.Topics Geo-Natural catastrophes 2010;analyses,assessments,positions[C].Munich,Germany.
- Osuteye E,Johnson C,Brown D,2017.The data gap:an analysis of data availability on disaster losses in sub-Saharan African cities[J].Int J Disaster Risk Reduct,26:24-33.doi:10.1016/j.ijdrr.2017.09.026.
- Pettitt A N,1979.A non-parametric approach to the change-point problem[J].J Royal Stat Soc:Ser C Appl Stat,28(2):126-135.doi:10.2307/2346729.
- Sen P K,1968.Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau[J].J Am Stat Assoc,63(324):1379-1389.doi:10.1080/01621459.1968.10480934.
- 司瑞洁,温家洪,尹占娥,等,2007.EM-DAT灾难数据库概述及其应用研究[J].科技导报,25(6):60-67. Si R J,Wen J H,Yin Z E,et al.,2007.Emergency events database(EM-DAT) and its applications[J].Sci Technol Rev,25(6):60-67.doi:10.3321/j.issn:1000-7857.2007.06.012.(in Chinese).
- Swiss Re,2010.sigma-Natural catastrophes and man-made disasters in 2009[C].Zurich,Switzerland.
- 王德运,谭亚妮,柯小玲,等,2020.中国热带气旋灾害经济损失时空特征分析[J].灾害学,35(2):62-69. Wang D Y,Tan Y N,Ke X L,et al.,2020.Analysis of spatio-temporal characteristics of economic loss caused by tropical cyclones in China[J].J Catastrophology,35(2):62-69.doi:10.3969/j.issn.1000-811X.2020.02.013.(in Chinese).
- 王会军,唐国利,陈海山,等,2020.“一带一路”区域气候变化事实、影响及可能风险[J].大气科学学报,43(1):1-9. Wang H J,Tang G L,Chen H S,et al.,2020.The Belt and Road region climate change:facts,impacts and possible risk[J].Trans Atmos Sci,43(1):1-9.doi:10.13878/j.cnki.dqkxb.20191110003.(in Chinese).
- 王艳杰,王卷乐,卜坤,2019.灾害数据管理技术与平台进展及其面临的需求研究[J].灾害学,34(2):205-210. Wang Y J,Wang J L,Bu K,2019.Research on disaster data management technology and platform progress and the demand it faces[J].J Catastrophology,34(2):205-210.(in Chinese).
- Wirtz A,Kron W,Löw P,et al.,2014.The need for data:Natural disasters and the challenges of database management[J].Nat Hazards,70(1):135-157.doi:10.1007/s11069-012-0312-4.
- 吴吉东,傅宇,张洁,等,2014.1949—2013年中国气象灾害灾情变化趋势分析[J].自然资源学报,29(9):1520-1530. Wu J D,Fu Y,Zhang J,et al.,2014.Meteorological disaster trend analysis in China:1949—2013[J].J Nat Resour,29(9):1520-1530.doi:10.11849/zrzyxb.2014.09.007.(in Chinese).
- 张霞,薛耀文,2015.全球重大突发事件规律研究[J].灾害学,30(3):229-234. Zhang X,Xue Y W,2015.Research on types and distribution regions of global serious emergencies[J].J Catastrophology,30(3):229-234.doi:10.3969/j.issn.1000-811X.2015.03.042.(in Chinese).
- 周波涛,徐影,韩振宇,等,2020.“一带一路”区域未来气候变化预估[J].大气科学学报,43(1):255-264. Zhou B T,Xu Y,Han Z Y,et al.,2020.CMIP5 projected changes in mean and extreme climate in the Belt and Road region[J].Trans Atmos Sci,43(1):255-264.doi:10.13878/j.cnki.dqkxb.20191125009.(in Chinese).

Evolution characteristics of global meteorological and hydrological disasters from 1990 to 2019

WANG Yi¹, ZHANG Xiaomei², ZHOU Ningfang¹, HU Zhengguang¹, LI Jiaying¹,
LÜ Yang³, WANG Ying³

¹National Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China;

²Public Meteorological Service Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China;

³Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China

Based on the global Emergency Events Database (EM-DAT), using Mann-Kendall trend test method and Pettitt, Buishand and SNHT abrupt change test methods, this paper analyzed the trend and abrupt change characteristics of global and Chinese meteorological and hydrological disasters from 1990 to 2019. Results show that: 1) The frequencies of global flood disasters and extreme temperature disasters increase significantly in recent 30 years. Global annual death toll caused by flood disasters shows a significant decreasing trend, while global annual economic loss caused by storm disasters shows a significant increasing trend. 2) The annual frequencies of global extreme temperature disasters and flood disasters change abruptly in 1999. Since 2000, the average frequency of extreme temperature disasters and flood disasters is about twice that of the first 10 years (1990—1999). 3) In the past 30 years, the frequency of flood disasters in China has changed from less to more around 1999, but the annual death toll displays an opposite transition around 1999. Compared with the world, the annual death toll caused by storm disasters and flood disasters in China has a more significant decreasing trend in recent 30 years. Similar to the world, the annual economic loss caused by storm disasters in China shows a long-term increasing trend, but the increasing trend is more significant. The abrupt change of economic loss caused by storm disasters in China occurs in 2012.

meteorological and hydrological disasters; disaster database; trend analysis; test of abrupt change

doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20210107001

(责任编辑:张福颖)