

# 1989—2021年中国台风灾害及其在自然灾害和气象灾害中的影响研究

李霁杭<sup>1,2</sup> 沈雨辰<sup>3</sup> 陈佩燕<sup>1,2</sup>

(1 中国气象局上海台风研究所, 上海 200030; 2 上海亚太台风研究中心, 上海 201306; 3 无锡市气象局, 无锡 214111)

**摘要:** 利用1989—2021年中国减灾网、国家统计局发布的数据, 以及《西北太平洋热带气旋年鉴》《中国气候公报》《中国民政统计年鉴》等资料, 对中国自然灾害、气象灾害、台风灾害进行统计分析, 发现中国自然灾害中对人员、经济、农作物危害最大的即为气象灾害, 而台风灾害在气象灾害中占比居高位。这33年间, 尽管登陆中国的热带气旋个数并未呈现显著升降趋势, 但致灾的热带气旋个数略有增加趋势; 因台风灾害造成的死亡失踪人数、房屋倒塌数、农作物受灾面积和直接经济损失在国内生产总值中的占比均呈下降趋势, 这充分表明我国防灾减灾能力有了显著提升。2012—2021年, 除农作物受灾面积基本稳定外, 其余指标均呈下降趋势, 因此加强现代农业气象服务将是未来健全台风灾害防御体系的工作重点。

**关键词:** 台风灾害, 自然灾害, 气象灾害, 农业气象服务

**中图分类号:** P4

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2024.06.004

## Research on Typhoon Disasters in China from 1989 to 2021 and Their Weighting in Natural and Meteorological Disasters

Li Jihang<sup>1,2</sup>, Shen Yuchen<sup>3</sup>, Chen Peiyan<sup>1,2</sup>

(1 Shanghai Typhoon Institute, China Meteorological Administration, Shanghai 200030;

2 Asia-Pacific Typhoon Collaborative Research Center, Shanghai 201306; 3 Wuxi Meteorological Bureau, Wuxi 214111)

**Abstract:** Using data released by the China Disaster Reduction Network and the National Bureau of Statistics from 1989 to 2021, as well as materials such as the *Northwest Pacific Tropical Cyclone Yearbook*, *China Climate Bulletin*, and *China Civil Affairs Statistical Yearbook*, statistical analysis was conducted on natural disasters, meteorological disasters, and typhoon disasters in China. It is found that meteorological disasters rank as the most harmful type of natural disaster to people, economy, and crops in China, with typhoon disasters accounting for a high proportion of meteorological disasters. During the 33 years, although the number of landing tropical cyclones in China has not shown a significant upward or downward trend, the number of disaster-induced tropical cyclones has slightly increased. Meanwhile, typhoon-triggered death or missing persons, collapsed houses, affected areas of crops, and the proportion of direct economic losses in GDP have shown a downward trend, which fully evidences the enhanced disaster prevention and mitigation capabilities in China. The affected areas of crops have remained stable, while a downward trend has been observed in all the other indicators from 2012 to 2021. Thus, strengthening modern agrometeorological services will be the focus of the enhanced typhoon disaster prevention system in the future.

**Keywords:** typhoon disaster, natural disaster, meteorological disaster, agrometeorological service

### 0 引言

抵御自然灾害与人类社会发展紧密相连<sup>[1]</sup>, 在千百年的抢险救灾中, 人类已深刻认识到减轻自然灾害风险是势在必行和需要持之以恒的<sup>[2]</sup>。21世纪以来,

世界风险大会倡导将灾害研究重点向灾前防范转移<sup>[3]</sup>。

中国的减灾战略和理念自新中国成立后亦与时俱进, 发生了重大转变。新中国成立以来, 我国经受了数次地震、洪灾的重大考验, 防灾减灾救灾工作主要分为3个阶段。第一阶段为社会主义革命和建设时期, 防灾抗灾基础薄弱, 1949年12月中央人民政府政务院颁布《关于生产救灾的指示》, 明确“节约防灾、生产自救、群众互助、以工代赈”的救灾方针。第二阶段为党的十一届三中全会后至党的十八大以前, 实现了从单灾种防范应对向多灾种综合管理转变。第三阶

收稿日期: 2023年11月14日; 修回日期: 2024年1月15日

第一作者: 李霁杭 (1988—), Email: ljh@typhoon.org.cn

通信作者: 陈佩燕 (1976—), Email: chenpy@typhoon.org.cn

资助信息: 中国气象局上海台风研究所基本科研业务费专项基金项目 (2024JB04)

段为党的十八大以后，我国防控体系和能力更为现代化、科学体制机制更快、更高效，自然灾害防控开启了高质量发展新篇章。当前，我国的风险意识已经渗透到自然灾害的防控中，由救灾向灾前防御转变，由单项防灾向综合减灾转变，由减少灾损向减少灾害风险转变。2018年，我国整合了应急职能小组，设立应急管理部门<sup>[4]</sup>，旨在提升自然灾害防治能力和部门间的协调统筹。2019年，为向综合减灾转变，从减少灾害损失向减少灾害风险转变，国务院建立了自然灾害防治部际联席会议制度。以上举措均是防灾减灾救灾理念的重大创新。

自然灾害中，台风（或称热带气旋）灾害是十分严重的，其带来的强降雨是重要的致灾因子，而其伴随的大风、内涝和风暴潮更是严重破坏着交通网络、通信设施等，给社会造成严重的经济损失，此外还会导致重大人员伤亡、疾病传播等，危及人们的身心健康<sup>[5]</sup>。近年来的严重暴雨内涝事件，如2021年的郑州7·20暴雨、2023年的北京7·31暴雨等皆由台风引发，因此，对台风灾害评估分析是防灾减灾工作的一项重要内容。2006—2015年，全球台风灾害年经济损失达550亿美元，居自然灾害首位。由于台风的频繁发生和其破坏性的影响，联合国将其列为仅次于洪水的最具破坏性的自然灾害之一。对于我国东南沿海而言，台风亦是最频繁、最严重的气象灾害之一<sup>[6]</sup>，影响不容小觑。据政府间气候变化专门委员会（IPCC）报告，1880—2012年，全球表面平均气温升高了0.85℃，将致包括台风在内的极端事件愈频愈烈<sup>[7]</sup>，大多数气候模式预测未来东亚沿海地区登陆台风强度可能增加<sup>[8-10]</sup>。台风灾害已经成为我国东部沿海地区可持续发展的限制因素之一<sup>[11]</sup>，城市的淹没风险加剧<sup>[12]</sup>。正因如此，越来越多学者开展致灾气旋研究。其中，雷小途等<sup>[13]</sup>对1980—2004年中国因台风造成的灾情资料进行了分析和客观评估，发现中国致灾台风的频数呈现逐年递减趋势，但因台风造成的伤亡总人数、倒损房屋数、受淹的农田面积和直接经济损失呈现上升趋势。Chen等<sup>[14]</sup>对1984—2008年台风致灾情况进行了分析，发现台风引起的特大灾害的年频率明显下降，这得益于台风路径预报的改进、公众和政府的防灾意识提高以及应对台风策略的改进。刘倩等<sup>[6]</sup>分析了热带气旋灾害的灾情时空特征，并进一步构建了热带气旋灾情指数。此外，Estrada等<sup>[15]</sup>和Chen等<sup>[16]</sup>还开展了热带气旋的风险评估和管理研究。

本文对1989—2021年自然灾害、气象灾害、台风灾害导致的各项损失进行统计梳理，继而回顾台风灾情的变化，寻找客观规律，对中国致灾台风的灾害特

征及灾情进行客观评估，以期见证防灾减灾成效，并为防台减灾工作提供一些参考依据。

## 1 资料与方法

文中所涉及的台风导致的死亡失踪人数、直接经济损失、房屋倒塌数、农作物受灾面积等数据源自应急管理部国家减灾中心的国家减灾网、中国气象局上海台风研究所出版的《西北太平洋热带气旋年鉴》和热带气旋数据库<sup>[17-19]</sup>；气象灾害的致灾情况来自中国气象局编制的《中国气候公报》，自然灾害的致灾数据来自中国民政部编制的《中国民政统计年鉴》；国内生产总值来自国家统计局发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展统计公报》。收集到的上述资料均为逐年数据，时段为1989—2021年，共33年，包含了新中国防灾减灾历程的部分第二阶段（改革开放至党的十八大）和第三阶段（党的十八大以后）。农作物总种植面积的数据来自国家统计局，时段为2012—2021年，共10年。

本文使用的统计分析方法有趋势分析和显著性检验，其中趋势分析采用的是线性回归分析，显著性检验方法采用的是 $t$ 检验。

## 2 自然灾害灾情分析

中国是全球受到自然灾害影响最为显著的国家之一<sup>[20]</sup>，自然灾害严重制约经济社会发展、威胁人民生命财产安全<sup>[21]</sup>。图1呈现了1989—2021年自然灾害的灾损情况，全国平均每年因自然灾害死亡失踪6005.67人，房屋倒塌240.22万间，农作物受灾38732.82千 $\text{hm}^2$ ，造成2837.16亿元人民币的直接经济损失；2008年死亡失踪人数、房屋倒塌数、直接经济损失因汶川地震达到峰值。值得肯定的是，这33年间，除直接经济损失外，各项指标均呈下降趋势，而直接经济损失的增长与国内生产总值稳步持续增长相关，因而计算直接经济损失在国内生产总值中的占比。由图1e可见，直接经济损失在国内生产总值中的占比呈下降趋势，但未通过0.05的显著性水平检验。以上结果充分展现了防灾减灾工作的卓越成效，见证了新时代防灾减灾救灾理念可行。

## 3 气象灾害灾情分析

进而分析自然灾害的分支之一——气象灾害的致灾情况。中国是世界上为数不多的自然灾害多发、类型多样、损失严重的国家之一，IPCC第六次评估报告指出未来全球面临的极端天气气候事件有增加的可能<sup>[22]</sup>。本文分析的气象灾害包括因台风、暴雨（雪）、雷暴、冰雹、大风、沙尘、龙卷、大（浓）雾、高温、

低温、连阴雨、冻雨、霜冻、结(积)冰、寒潮、干旱、干热风、热浪、洪涝、积涝等直接造成的灾害。1989—2021年,中国主要的气象灾害中,暴雨、台风和高温热浪较为突出,主要气象灾害平均每年造成中

国2467.55人死亡失踪,直接经济损失为2360.45亿元人民币,灾害影响颇剧,但与自然灾害类似,死亡失踪人数和直接经济损失在国内生产总值中的占比呈下降趋势,但未通过0.05的显著性水平检验(图2)。

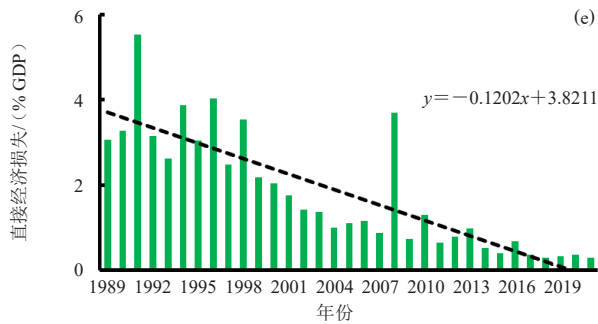
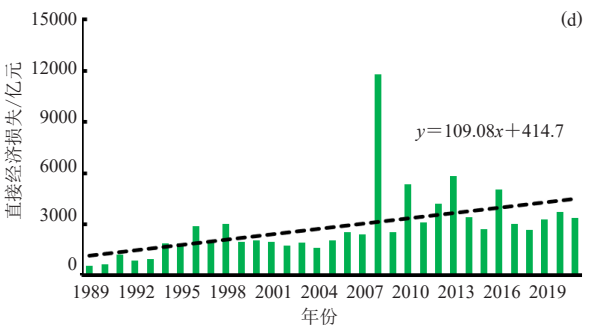
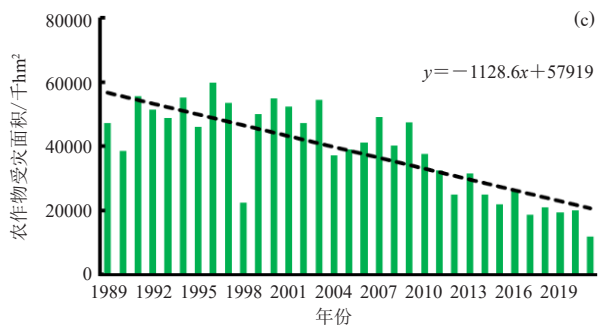
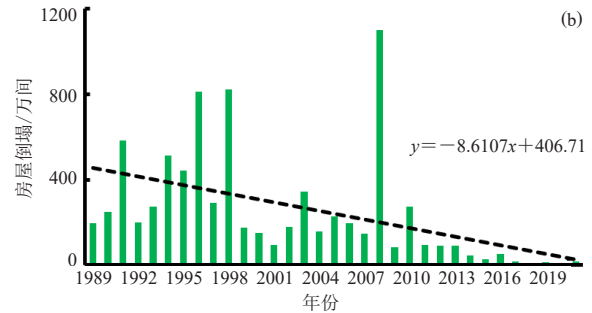
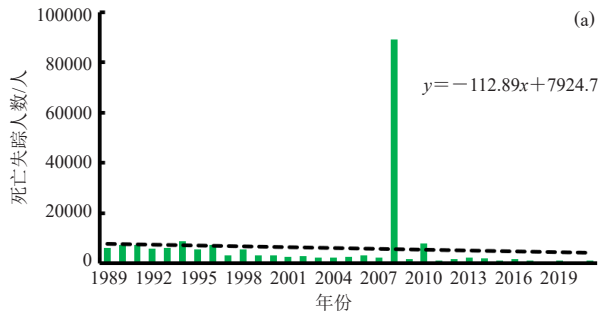


图1 1989—2021年自然灾害致中国死亡失踪人数(a)、房屋倒塌数(b)、农作物受灾面积(c)、直接经济损失(d)和直接经济损失在国内生产总值中的占比(e)  
Fig. 1 Number of death or missing persons (a), number of collapsed houses (b), affected areas of crops (c), direct economic losses (d), and proportion of direct economic losses relative to GDP (e) in China caused by natural disasters from 1989 to 2021

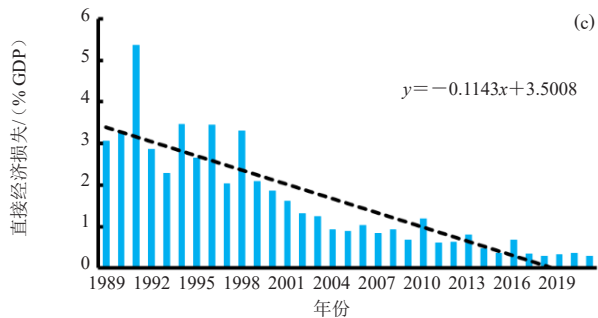
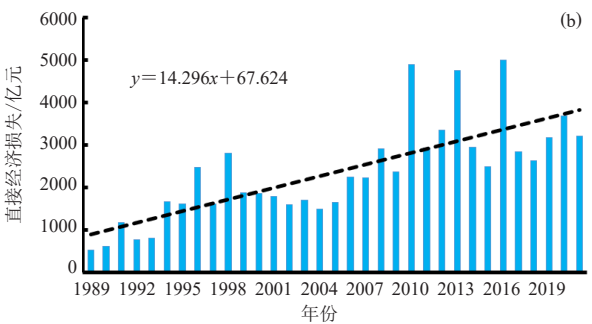
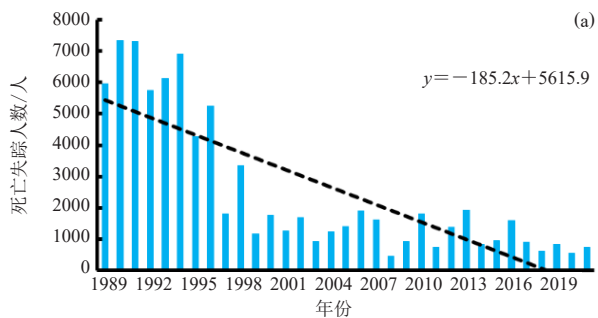


图2 1989—2021年气象灾害致中国死亡失踪人数(a)、直接经济损失(b)和直接经济损失在国内生产总值中的占比(c)  
Fig. 2 Number of death or missing persons (a), direct economic losses (b), and proportion of direct economic losses relative to GDP (c) in China caused by meteorological disasters from 1989 to 2021

图3展示的是1989—2021年气象灾害致死亡失踪人数、直接经济损失两项灾损指标占自然灾害的比重。自然灾害中直接经济损失和死亡失踪人数多由气象灾害贡献，这33年间平均占比分别高达89.98%、71.72%，可见持续加强气象防灾减灾工作的重要和必要。值得一提的是，两项灾损指标比例均因汶川地震在2008年触底。

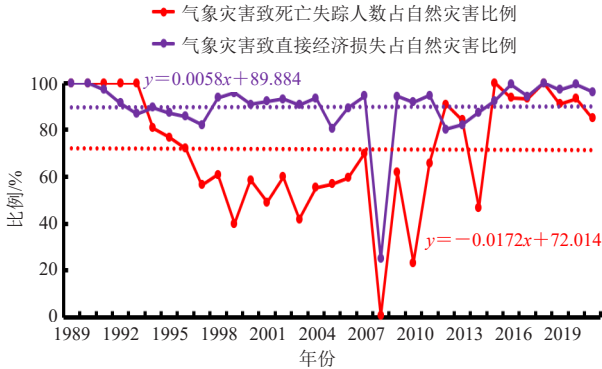


图3 1989—2021年气象灾害致中国死亡失踪人数、直接经济损失在自然灾害中的占比

Fig. 3 Proportions of death or missing persons as well as direct economic losses caused by meteorological disasters in natural disasters in China from 1989 to 2021

#### 4 台风灾害灾情分析

因收集到的1989—2011年的台风灾情数据为年度灾情统计，而近10年（2012—2021年）的灾情数据包含单一灾台风的信息，更为翔实，因而下文除分析1989—2021年灾情损失外，亦会分析2012—2021年的台风灾情变化趋势对比。

如图4所示，1989—2021年登陆中国的台风共273个，年平均登陆8.3个，呈减少趋势（未通过0.05的显著性水平检验）；对中国造成灾情的热带气旋（简称致灾热带气旋）共256个，平均每年7.8个，呈增加趋势（未通过0.05的显著性水平检验），但年际差异较

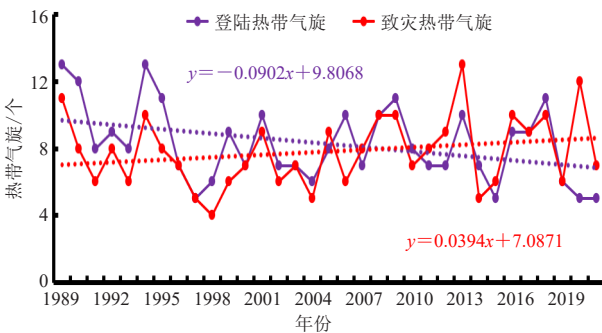


图4 1989—2021年登陆中国的热带气旋个数和致灾热带气旋个数

Fig. 4 Number of landing tropical cyclones and disaster-induced tropical cyclones in China from 1989 to 2021

大，2013年最多，约13个，1998年最少，仅有4个。2012—2021年，登陆中国的台风共74个，年平均登陆7.4个，致灾热带气旋共85个（有些台风没有登陆也致灾），年平均8.5个，相较于1989—2021年平均，近10年致灾热带气旋数略有增加。

1989—2021年，台风共造成中国死亡失踪11919人，房屋倒塌701.82万间，农作物受灾86980.49千 $\text{km}^2$ ，造成直接经济损失12981.3亿元。

1989—2021年，中国平均每年因台风死亡失踪361.15人，台风灾害造成的死亡失踪人数有减少趋势，下降率为24.73人/a；台风致死亡失踪人数年度差异大，其中最多的年份为1994年，总计2115人死亡失踪，最少的年份为2021年，共4人死亡失踪（图5a）。不同致灾台风造成的人员伤亡情况亦差异悬殊，9417号台风致死亡失踪1126人，该台风登陆正值瓯江、飞云江百年不遇的特高潮位，给温州造成巨大损失。近10年，中国每年因台风死亡失踪85.10人，台风灾害造成的死亡失踪人数呈减少趋势，下降率为12.93人/a（图6a）。其中，1601号台风“尼伯特”致死亡失踪105人，为近10年最多。“尼伯特”致多地出现强烈风雨天气，继而诱发了一系列地质灾害，其中以福建省受灾最严重；“尼伯特”的灾害与汛期、梅雨季节灾害相互作用、叠加，亦增大了其影响；当时正是夏季旅游的高峰期，“尼伯特”周末登陆后，沿海岛屿、山区景点以及河流和湖泊周围多有游客聚集；此外，当地农民工较多，他们的防台意识相对薄弱，这些均是“尼伯特”致死率高的原因。本文统计发现，近10年52.4%的台风未致人员死亡失踪，这既得益于这些台风的强度偏弱，又得益于台风预报精准度的提高和防台减灾工作的深入落实。

1989—2021年，平均每年中国因台风倒塌的房屋约21.28万间，房屋倒塌数以1.68万间/a的速度迅速下降；房屋倒塌最多的年份为1994年，达134.67万间，最少的年份为2021年，仅0.06万间房屋倒塌（图5b）。近10年，平均每年中国因台风倒塌的房屋约2.88万间，房屋倒塌数以0.67万间/a的速度下降（图6b）；与人员伤亡情况相似，单个台风致房屋倒塌数亦存在显著差异，其中，1311号台风“尤特”造成房屋倒塌数量最多，达5.3万间。近10年，36.9%的台风未造成房屋倒塌。

台风不仅会直接破坏农作物，还可能引发泥石流等次生灾害，毁坏农田，因此，台风对农业生产的影响很重<sup>[23]</sup>。1989—2021年，平均每年台风造成2635.77千 $\text{km}^2$ 农作物受灾，但整体呈下降趋势，下降率为

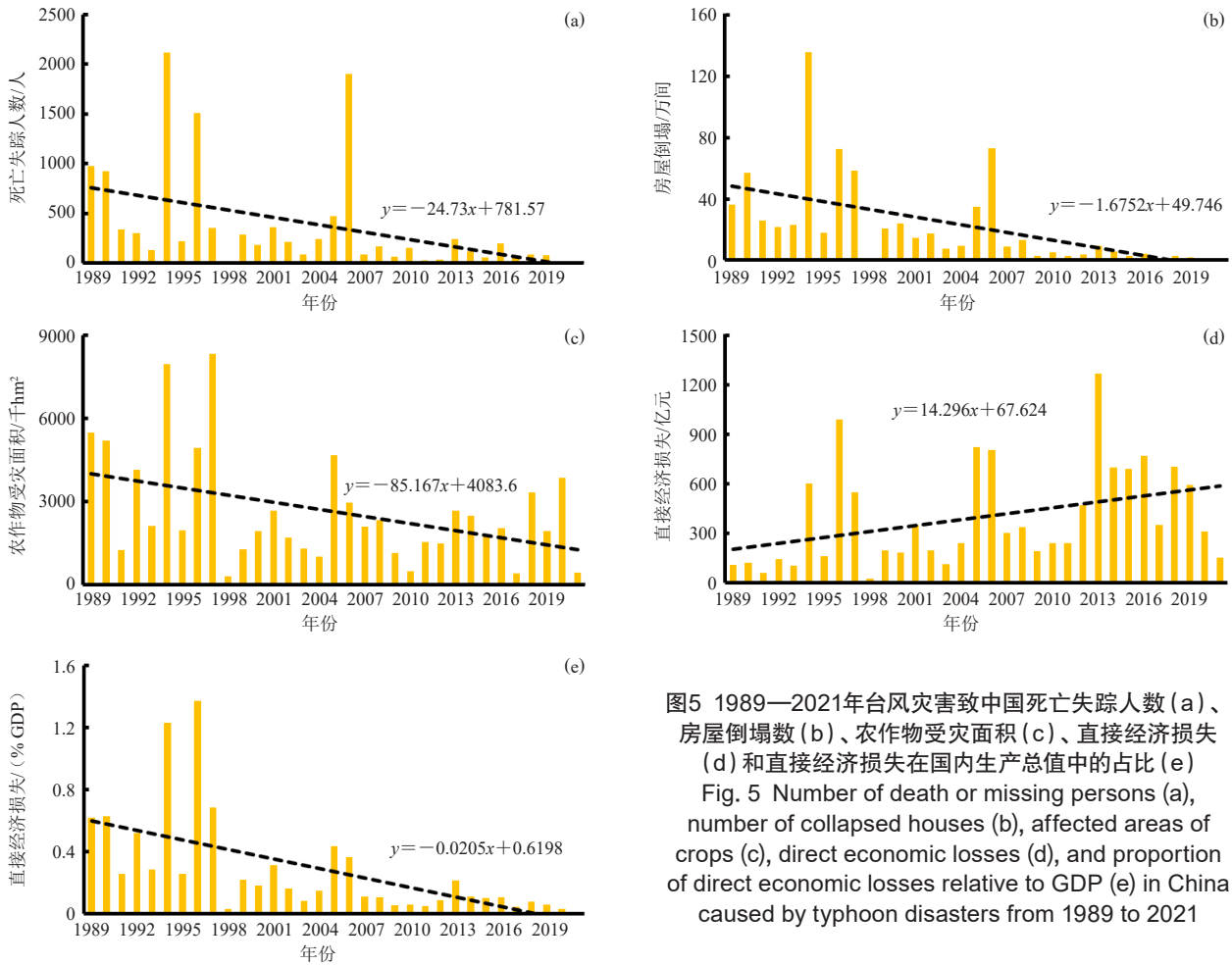


图5 1989—2021年台风灾害致中国死亡失踪人数 (a)、房屋倒塌数 (b)、农作物受灾面积 (c)、直接经济损失 (d) 和直接经济损失在国内生产总值中的占比 (e)  
Fig. 5 Number of death or missing persons (a), number of collapsed houses (b), affected areas of crops (c), direct economic losses (d), and proportion of direct economic losses relative to GDP (e) in China caused by typhoon disasters from 1989 to 2021

85.17千hm<sup>2</sup>/a; 其中1997年台风致农作物受灾最为严重, 受灾面积达8310.76千hm<sup>2</sup> (图5c)。近10年, 平均每年台风造成中国2034.72千hm<sup>2</sup>农作物受灾, 2020年受灾面积最大, 为3863.2千hm<sup>2</sup>, 2017年受灾面积最小, 为394千hm<sup>2</sup>, 前者是后者的近10倍; 近10年, 中国因台风致农作物受灾面积呈相对平稳趋势, 是众致灾指标中唯一一个未显著下降的指标 (图6c); 农作物受灾面积在农作物总种植面积中的占比亦呈现相对平稳趋势 (图6d)。因此, 相较于其他灾损指标, 我国农业气象服务质量还有待提高, 需加大农作物保护力度, 加强现代农业气象服务, 健全基层台风灾害防御体系。

近10年, 3.6%的台风未造成农作物受灾。造成农作物受灾面积最大的为3个连续台风, 即接踵而至的2008号“巴威”、2009号“美莎克”和2010号“海神”, 致灾总面积为3071.9千hm<sup>2</sup>。两周内, 三个台风北上影响东北, 时间间隔短, 受灾地区高度重叠, 导致东北地区半个月平均降水量达到170.1 mm, 较常年同期偏多3倍, 致嫩江、松花江、黑龙江等河流长时间水位超限, 玉米等农作物大面积倒伏, 出现农作物大面

积受灾情况。

台风亦会重创国民经济<sup>[24]</sup>。1989—2021年, 台风造成中国年均直接经济损失为393.37亿元, 平均占国内生产总值的0.27%, 直接经济损失呈上升趋势, 但占国内生产总值比例却明显下降, 递减率为0.021%/a, 2013年直接经济损失最多, 达1260.3亿元 (图5d、5e)。近10年, 台风造成的中国年均直接经济损失为596.29亿元, 平均占国内生产总值的0.07%; 1323号台风“菲特”造成的直接经济损失最严重, 达631.4亿元, 而2022年台风“环高”造成的直接经济损失最轻微, 为0.005亿元; 从近10年总体情况看, 不仅台风造成的直接经济损失在国内生产总值中的占比明显下降, 直接经济损失本身也呈下降趋势, 递减率为62.82亿元/a (图6e、6f)。

以上结果显示, 总体上, 30多年来中国防灾减灾能力显著提升, 为建设社会主义现代化强国提供了有力的安全保障。

图7展示的是1989—2021年台风致人员死亡失踪人数和直接经济损失两项指标在气象灾害、自然

灾害中的占比。在气象灾害中，台风致人员死亡失踪人数、直接经济损失年平均占比分别为15.04%，17.45%；在自然灾害中，上述两项指标占比分别为9.29%，15.54%；上述比例均呈现一定的下降趋势，但未通过0.05的显著性水平检验，相比于图3所示的

1989—2021年气象灾害致灾指标占自然灾害比重趋势相对平稳，表明防台减灾能力的提升更明显。

## 5 结论与讨论

本文对中国因自然灾害、气象灾害、台风灾害造成的死亡失踪人数、农作物受灾面积、房屋倒塌、直

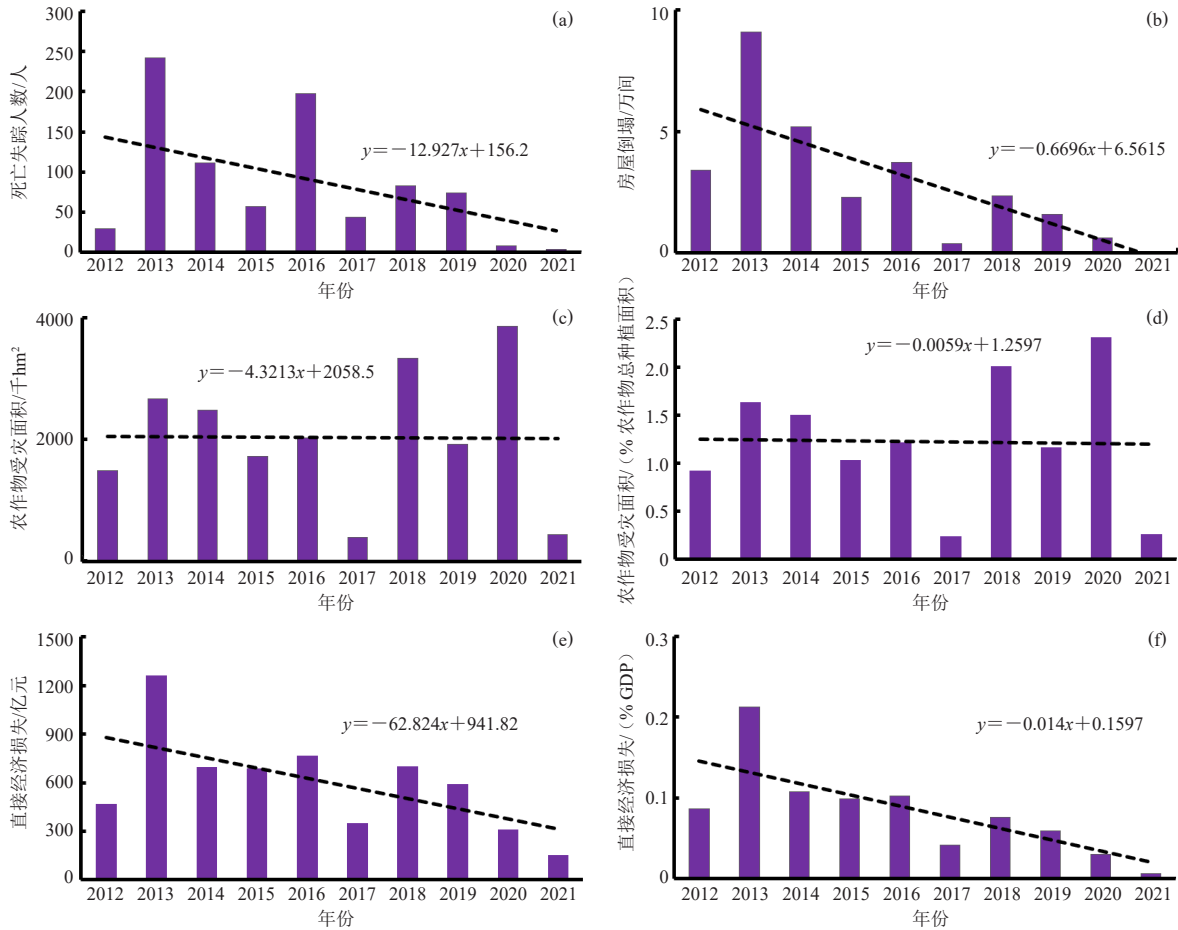


图6 2012—2021年台风灾害致中国死亡失踪人数 (a)、房屋倒塌数 (b)、农作物受灾面积 (c)、农作物受灾面积在农作物总种植面积中的占比 (d)、直接经济损失 (e) 和直接经济损失在国内生产总值中的占比 (f)

Fig. 6 Number of death or missing persons (a), number of collapsed houses (b), affected areas of crops (c), proportion of affected areas of crops relative to the total planting areas of crops (d), direct economic losses (e), and proportion of direct economic losses relative to GDP (f) in China caused by typhoon disasters from 2012 to 2021

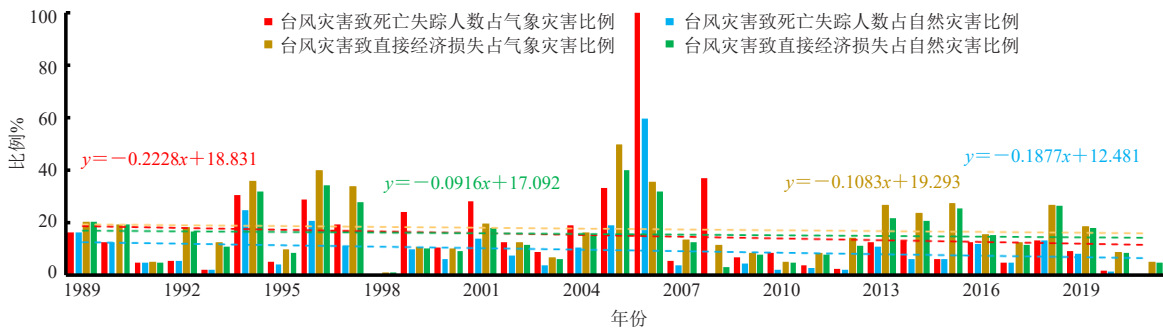


图7 1989—2021年台风灾害致中国死亡失踪人数、直接经济损失在气象灾害和自然灾害中的占比

Fig. 7 Proportions of the number of death or missing persons as well as direct economic losses caused by typhoon disasters in meteorological and natural disasters in China from 1989 to 2021

接经济损失等灾情资料进行了分析与评估, 得出以下主要结论。

1) 1989—2021年, 中国平均每年因自然灾害导致死亡失踪6005.67人、房屋倒塌240.22万间、农作物受灾38732.82千 $\text{hm}^2$ 、直接经济损失2837.16亿元。死亡失踪人数、房屋倒塌数、农作物受灾面积和直接经济损失在国内生产总值中的占比均呈下降趋势, 充分彰显了防灾减灾工作的卓越成效。

2) 1989—2021年, 气象灾害每年造成中国2467.55人死亡失踪, 2360.45亿元的直接经济损失。直接经济损失呈上升趋势, 但死亡失踪人数和直接经济损失在国内生产总值中的占比均呈下降趋势, 与吴吉东等<sup>[25]</sup>分析1949—2013年气象灾害致灾情况得到的结论相一致。

3) 1989—2021年, 中国因台风平均每年造成死亡失踪361.15人、房屋倒塌21.27万间、农作物受灾2635.77千 $\text{hm}^2$ 、直接经济损失363.37亿元。除直接经济损失外, 其他指标均呈下降趋势, 与雷小途等<sup>[13]</sup>分析的1980—2004年呈上升趋势相反, 可见我国的防台减灾能力近年来明显提升。

4) 2012—2021年, 中国因台风平均每年造成死亡失踪85.1人、房屋倒塌2.88万间、农作物受灾2034.72千 $\text{hm}^2$ 、直接经济损失596.29亿元。从变化趋势看, 除农作物受灾面积相对平稳外, 其余各项指标均呈下降趋势, 因而加强现代农业气象服务应是当前健全台风灾害防御体系的工作重点之一。

本文研究表明, 1989—2021年, 中国的防灾减灾工作, 特别是台风防灾减灾效益和能力明显提升, 探索出了一条有中国特色的自然灾害防治之路, 在应对一系列自然灾害方面取得了显著成就, 为国民经济发展贡献了巨大力量。由于本文未收集到1989年以前的灾情数据, 因此尚不能全面分析新中国成立以来中国防灾减灾的总体成效和趋势, 未来需尽可能地扩展收集相关数据, 更加翔实地统计分析新中国成立至今防灾减灾的3个重要阶段的灾情变化趋势, 探究理念的提升、政府部门的重视和科技的进步对防灾减灾成效的影响。

#### 参考文献

- [1] Sellberg M M, Ryan P, Borgström S T, et al. From resilience thinking to resilience planning: lessons from practice[J]. *Journal of Environmental Management*, 2018, 217: 906-918.
- [2] Zscheischler J, Westra S, van den Hurk B J J M, et al. Future climate risk from compound events[J]. *Nature Climate Change*, 2018, 8(6): 469-477.
- [3] 吴绍洪, 高江波, 邓浩宇, 等. 气候变化风险及其定量评估方法[J]. *地理科学进展*, 2018, 37(1): 28-35.
- [4] 吴绍洪, 高江波, 韦炳干, 等. 自然灾害韧性社会的理论范式[J]. *地理学报*, 2021, 76(5): 1136-1147.
- [5] Wu X H, Xu Z, Liu H, et al. What are the impacts of tropical cyclones on employment? An analysis based on Meta-regression[J]. *Weather, Climate, and Society*, 2019, 11(2): 259-275.
- [6] 刘倩, 高路, 赵鹏, 等. 2000—2016年中国热带气旋灾害时空特征研究[J]. *中国防汛抗旱*, 2020, 30(5): 50-57.
- [7] 陈雷, 王艳君, 温姗姗, 等. 1986—2015年中国东南沿海致灾气旋及其直接经济损失变化特征[J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(3): 583-593.
- [8] Xiao M Z. Change in the occurrence frequency of landfalling and non-landfalling tropical cyclones over the Northwest Pacific[J]. *Journal of Climate*, 2021, 34(8): 3145-3155.
- [9] Hong C C, Tsou C H, Hsu P C, et al. Future changes in tropical cyclone intensity and frequency over the western North Pacific based on 20-km HiRAM and MRI models[J]. *Journal of Climate*, 2021, 34(6): 2235-2251.
- [10] Chan J C L. Frequency and intensity of landfalling tropical cyclones in East Asia: past variations and future projections[J]. *Meteorology*, 2023, 2(2): 171-190.
- [11] 于小兵, 俞显瑞, 吉中会, 等. 基于信息扩散的东南沿海台风灾害风险评估[J]. *灾害学*, 2019, 34(1): 73-77.
- [12] 许瀚卿, 谭金凯, 李梦雅, 等. 基于Copula函数的沿海城市雨潮复合灾害风险研究[J]. *自然灾害学报*, 2022, 31(1): 40-48.
- [13] 雷小途, 陈佩燕, 杨玉华, 等. 中国台风灾情特征及其灾害客观评估方法[J]. *气象学报*, 2009, 67(5): 875-883.
- [14] Chen P Y, Lei X T, Ying M. Introduction and application of a new comprehensive assessment index for damage caused by tropical cyclones[J]. *Tropical Cyclone Research and Review*, 2013, 2(3): 176-183.
- [15] Estrada F, Botzen W, Tol R S J. Economic losses from US hurricanes consistent with an influence from climate change[J]. *Nature Geoscience*, 2015, 8(11): 880-884.
- [16] Chen P Y, Yu H, Cheung K K W, et al. A potential risk index dataset for landfalling tropical cyclones over the Chinese mainland (PRITC dataset V1.0)[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2021, 38(10): 1791-1802.
- [17] Ying M, Zhang W, Yu H, et al. An overview of the China Meteorological Administration tropical cyclone database[J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2014, 31(2): 287-301.
- [18] Chen P Y, Yu H, Xu M, et al. A simplified index to assess the combined impact of tropical cyclone precipitation and wind on China[J]. *Frontiers of Earth Science*, 2019, 13(4): 672-681.
- [19] Lu X Q, Yu H, Ying M, et al. Western North Pacific tropical cyclone database created by the China Meteorological Administration[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2021, 38(4): 690-699.
- [20] 杨月巧, 袁志祥, 孔锋, 等. 中国综合减灾发展趋势研究[J]. *灾害学*, 2021, 36(1): 139-144.
- [21] 汪嘉俊, 翁文国. 多灾种概念辨析及灾害事故关系研究综述[J]. *中国安全生产科学技术*, 2019, 15(11): 57-64.
- [22] 高启慧, 秦圆圆, 梁媚聪, 等. IPCC第六次评估报告综合报告解读及对我国的建议[J]. *环境保护*, 2023, 51(9): 84-86.
- [23] 尚志海, 曹海玲, 林妙萍, 等. 国内农业台风灾害风险评估研究进展[J]. *灾害学*, 2019, 34(2): 168-172.
- [24] 姜露露, 马仁锋, 袁海红. 台风灾害经济损失评估研究进展[J]. *生态科学*, 2022, 41(3): 252-263.
- [25] 吴吉东, 傅宇, 张洁, 等. 1949—2013年中国气象灾害灾情变化趋势分析[J]. *自然资源学报*, 2014, 29(9): 1520-1530.

(编辑: 郑秋红)