

中国台风灾情特征及其灾害客观评估方法^{*1}

雷小途¹ 陈佩燕^{2,3} 杨玉华^{2,3} 钱燕珍⁴

LEI Xiaotu¹ CHEN Peiyan^{2,3} YANG Yuhua^{2,3} QIAN Yanzhen⁴

1. 上海区域气候中心, 上海, 200030
2. 中国气象局上海台风研究所, 上海, 200030
3. 中国气象局台风预报技术重点开放实验室, 上海, 200030
4. 浙江省宁波市气象局, 浙江, 315000

1. *Climate Center of Shanghai Meteorological Administration, Shanghai 200030, China*
2. *Shanghai Typhoon Institute, CMA, Shanghai 200030, China*
3. *Laboratory of Typhoon Forecast Technique, CMA, Shanghai 200030, China*
4. *Ningbo meteorological Administration of Zhejiang Province, Ningbo 315000, China*

2007-09-13 收稿, 2007-11-19 改回.

Lei Xiaotu, Chen Peiyan, Yang Yuhua, Qian Yanzhen. 2009. Characters and objective assessment of disasters caused by typhoons in China. Acta Meteorologica Sinica, 67(5):875–883

Abstract The characters of casualty, damaged or collapsed house, inundated farmland area, and direct economic loss caused by tropical cyclones (TC) in China during 1980–2004 are analyzed based on the typhoon disaster loss data compiled by Shanghai Typhoon Institute and National Meteorological Center. Considering direct economic loss and the influence of society development, an Advanced Typhoon Disaster Index (ATDI) for objective assessment of disaster degrees is developed. Based on the ATDIs of all tropical cyclones, the disasters are divided into four categories: gentle, moderate, heavy, and severe. It is found that on average 7.2 TCs caused remarkable damages in China each year. The annual damage increases with increasing casualty (the death toll dropped dramatically), damaged or collapsed house, inundated farmland, and direct economic loss, although the number of TCs causing disasters has dropped in China during 1980–2004. The average yearly growth rates of the damaged or collapsed house, inundated farmland, and direct economic loss are 1.33×10^3 rooms, 2.28×10^4 hm², and 1.46 billion RMB, respectively. As far as single TC is concerned, those average growth rates are 581.4 rooms per TC, 880.0 hm² per TC and 33 million RMB per TC, respectively. Based on the ATDI, the damage caused by TCs more severe in the mid 1990's with the severest (gentlest) damage occurring in 1996 (1998) from 1980 to 2004.

Key words Typhoon, Disaster, Assessment

摘 要 利用上海台风研究所及国家气象中心整编的中国台风灾情资料, 分析了我国致灾台风造成的人员伤亡、房屋倒塌、农田受淹及直接经济损失等灾情特征。引入了定基物价指数, 改进了台风灾害指数(ATDI指数)的计算方法, 基于1980—2004年间所有致灾台风的灾害指数的聚类分析, 将致灾台风的灾害分为: 轻灾(或小灾)、中灾、大灾(或中偏重灾)和重灾4个等级, 并据此对1980—2004年间中国致灾台风的灾情进行了客观评估。结果表明: 平均每年约有7.2个台风对中国造成明显灾情, 最多的年份多达11个, 最少年份也有4个。中国致灾台风的频数逐年减少, 但造成的灾情却逐年趋重, 因台风而伤亡的总人数逐年上升(死亡人数下降)、倒塌房屋和受淹的农田面积以及造成的直接经济损失均逐年递增, 倒塌房屋、受淹的农田面积、直接经济损失的年平均增长率分别为 1.33×10^4 间/年、 2.28×10^4 hm²/年和 14.56 亿元/年。1980—2004年间, 单个致

* 资助课题: 中国气象局气象新技术推广项目(CMATG2005M16)。

作者简介: 雷小途, 主要从事台风理论及预报技术研究。Email: leixt@typhoon.gov.cn

灾台风而言,倒损房屋、受淹的农田面积、直接经济损失的平均增长率分别为 581.4 间/个、880.0 hm^2 /个和 0.33 亿元/个。从台风灾害指数看,1990 年代中期,中国的台风灾害较为严重,其中 1996 年最重,而 1998 年则是 1980—2004 年间台风灾害最轻的年份。

关键词 台风, 灾害, 评估

中图法分类号 P40.35

1 引言

台风(泛指热带气旋,包括热带低压、热带风暴、强热带风暴、台风、强台风、超强台风,下同)及其伴随的狂风暴雨和风暴潮等,往往造成树拔屋倒、船沉田淹、财损人亡等灾害,深入内陆的台风还常引发洪水和泥石流等次生灾害,是众所周知的严重灾害性天气。

长期以来,气象工作者通过投入更多、更新的探测设备,获取更全面的观测信息;开展更广泛的联合科技攻关,提高对台风活动规律和机制的认识(黄荣辉等,2007);使用更高性能的计算机和研制更高分辨率的数值模式,提高对台风路径和强度等的预报能力(黄伟等,2007),取得了长足的进步和有目共睹的成果,为防台减灾工作提供了强有力的科技支撑。

为了解台风灾害的特征,提高台风灾害的预报预警能力,国外早在 20 世纪 70 年代即开展了台风灾害风险分析评估工作(Saffir, 1972; Simpson, 1974),并研制了台风大风可能带来的灾害风险的评估指标体系(Saffir-Simpson Tropical Cyclone Scale, STiCkS)(Sheifer, 1986; Guard, 1999)。然而,中国对台风灾害的研究却相对缺乏,对中国致灾台风特征的分析工作主要是在“八·五”攻关期间,并对台风害情的评估进行了初步的研究(徐良炎, 1994; 梁必骥等, 1995; 蔡则怡等, 1994)。但是,当时使用的资料年代大都截止至 1990 年前后,而且对台风灾情评估等工作主要集中在东南沿海的部分省(直辖市),至今我们尚不十分清楚中国总体的台风灾害究竟有多大、具有特点如何,不同台风的灾情孰重孰轻也众说纷纭。本文利用中国气象局上海台风研究所和国家气象中心整编的台风灾情资料,对中国台风的灾害特征及台风灾情的客观评估方面进行

了初步的分析和研究。

2 台风灾情资料

由于种种原因,中国台风灾情资料的收集、上报工作较为薄弱,台风灾情的内容不很规范、资料不很完整,而且不同来源的数据相差悬殊。20 世纪 90 年代初,中国气象局曾组织力量对台风的灾情资料进行了较系统的收集和整理,并由上海台风研究所主持对 1980—1992 年间中国的台风灾情资料进行了整编。2005 年,受中国气象局气象新技术推广项目资助,中国气象局上海台风研究所汇同国家气象中心对 1993—2004 年中国的台风灾情资料进行了整编。整编时使用的资料主要来自:历年《全国气候影响评价》、《全国农业年鉴》、《气象》,近两年出版的《中国气象灾害年鉴》以及国家气候中心有关的历史灾情数据等。

整编后的 1980—2004 年的中国台风灾情资料包括:死亡人数、失踪人数、受伤人数、倒塌房屋数、受损房屋数、受淹农田面积、船舶沉没及损坏数和直接经济损失等项。以省(或直辖市或自治区,下同)为单位,单个台风在同一省境内造成的灾情为一个样本,1980—2004 年间共有 450 个不甚完整(部分灾情项目缺测)的样本,图 1 给出了各灾情资料的年样本数分布。

由于船舶沉没、船舶损坏的记录“缺测”太多(而且往往同时缺测),样本数仅为总样本数的 18.7% 和 26.4%,故本文暂不作分析。失踪人员的记录“缺测”更多,但考虑到受台风影响时不一定会造成人员失踪的事实,因此,本文将失踪人员的“缺测”视为无人员失踪处理,即失踪人数为 0。此外,失踪数年的人员,死亡的可能性极大,因此,下文将失踪人数与死亡人数合并成“伤亡人数”进行分析。

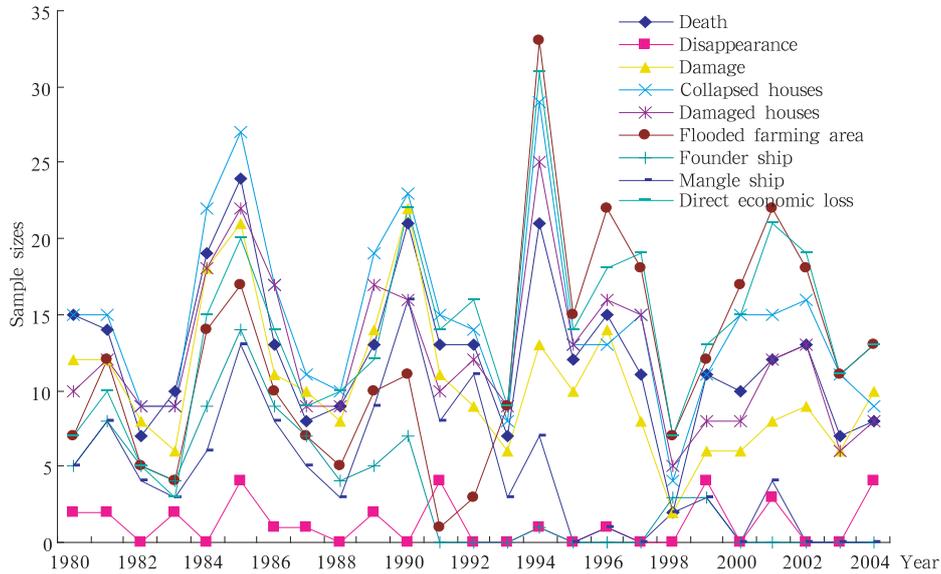


图 1 1980—2004 年中国台风灾情资料的年样本数分布

Fig. 1 Temporal evolution of yearly sample sizes of disasters caused by tropical cyclones in China from 1980 to 2004

3 台风灾害特征

3.1 致灾台风频数

1980—2004 年间,对中国造成明显灾情(有记录)的台风共 181 个,平均每年约 7.2 个,且年际差异较大,最多的年份(1985 年)达 11 个之多,是最少年份(1998 年)4 个的近 3 倍。由图 2 可见:除 3—5 年的年际振荡外,中国致灾台风频数总体呈现弱的减少趋势(约 0.8 个/10 年)。此外,年代际变化特征也较明显:20 世纪 90 年代及以后相对少发,1996 年以来的年致灾台风数几乎都在平均数以下(2001 年除外)。

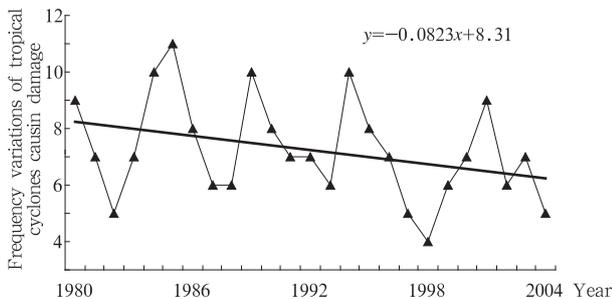


图 2 1980—2004 年中国致灾台风频数的年际变化 (粗实线为线性趋势线)

Fig. 2 Frequency variations of tropical cyclones causing damages in China from 1980 to 2004 (The abscissa: time (year); the ordinate: number of tropical cyclones causing disasters; the thick line: linear trend)

台风对中国影响的地域较广,从地理分布看,1980—2004 年间,中国共有 24 个省份受台风的明显影响并有灾情记录,但以东南沿海各省为多(徐良炎(1994)、梁必骐等(1995)、蔡则怡(1994)、叶雯(2002)等也曾得到过类似的不完全统计结论)。其中,广东省的致灾台风频数最多,共有 92 个(年均约 3.7 个)影响并造成了有记录的灾情;福建和浙江省次之,年均约 2.6 个;海南岛、广西、江苏省年均 1.9—1.2 个,江西、安徽、上海、山东、湖南、湖北、河北、辽宁、吉林、天津、北京、河南、黑龙江、山西、陕西、内蒙古、云南、贵州等省份年均尚不足 1 个致灾台风影响。

3.2 致灾台风灾情

1980—2004 年的 25 年间,181 个致灾台风共造成中国 23.53 万人伤亡(其中死亡及失踪 1.44 万人,伤 22.09 万人)、3088.95 万间房屋倒损(其中倒塌 742.18 万间,损坏 2346.77 万间)、 3.92×10^7 hm² 农田受淹和 4223.57 亿元人民币的直接经济损失,并有 7 万余艘各式船舶翻沉或损坏。

(1) 人员伤亡

1980—2004 年间的台风灾情资料显示:平均每年,中国因台风伤亡(含失踪,下同)9412.8 人,其中死亡(含失踪,下同)577.3 人、伤 8835.5 人;平均每个台风,造成人员伤亡数为 1300.1 人,其中死亡

79.7 人、伤 1220.4 人。

台风造成的伤亡人数年际间差异极大:1996 年因台风而伤亡人数高达 12.27 万人,是最少年 1998 年 12 人的 1 万多倍;死亡人数的多年(1994 年 2115 人)和少年(1998 年 6 人)间也相差 352 倍。在中国,台风灾害造成的伤亡人数有以逐年约 405.9 人的速度增加的趋势,但死亡人数则以 24.9 人/年的速度递减(图 3)。

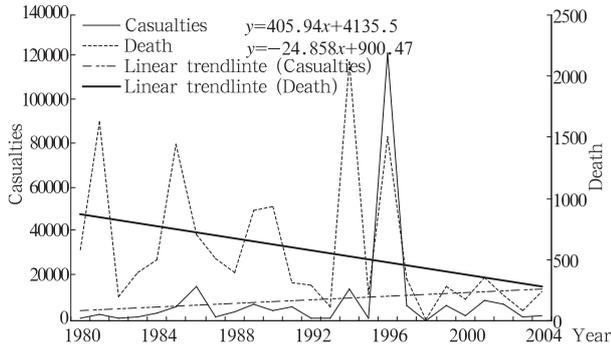


图 3 1980—2004 年中国台风灾害造成的人员伤亡数(单位:人)

Fig. 3 Casualties (unit: person) caused by tropical cyclones in China from 1980 to 2004
(The thick line denotes the linear trend)

不同致灾台风造成的人员伤亡情况也相差悬殊:9608、9417 号台风分别以伤亡 11.3 万人和死亡 1426 人而居首位,而 8009、8311、8613、8704、8819、8823、9206、9207、9806、0119 号台风仅有 1 人死或伤甚至未造成人员伤亡。此外,造成 5 千以上人员伤亡的台风还有:8607 号(伤亡 1.22 万人)、9615 号(伤亡 8116 人)、0104 号(伤亡 7907 人)、9417 号(伤亡 5946 人)、9711 号(伤亡 5660 人)及 9107(伤亡 5340 人);造成 500 人以上死亡的台风还有:8108 号(死亡 1283 人)、9608 号(死亡 779 人)。从趋势上看,随着时间的推移,单个台风造成的人员伤亡数略有增加(递增率为 11.4 人/个),死亡人数则略有减少(递减率为 0.3 人/个)。

(2) 房屋倒塌

1980—2004 年间,中国因台风而倒塌的房屋平均每年约 123.56 万间(其中倒塌 29.69 万间、损坏 93.87 万间),并以 1.33 万间/年的速度递增(图 4);单个台风平均约造成 17.07 万间房屋倒塌(其中倒塌 4.10 万间、损坏 12.97 万间),并以 581.4 间/个的速度随时间递增。

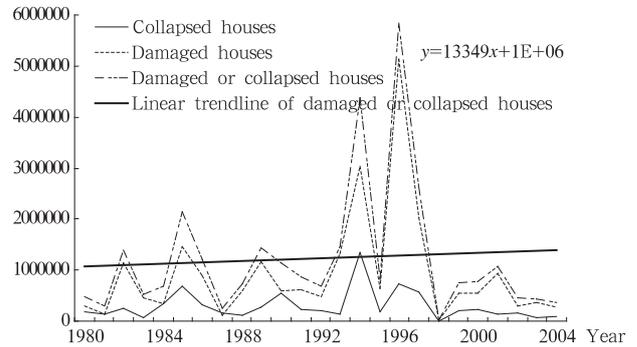


图 4 1980—2004 年中国台风灾害造成的房屋倒塌数(单位:间)

Fig. 4 Yearly damaged and collapsed houses (unit: room) caused by tropical cyclones in China from 1980 to 2004
(The thick line denotes the linear trend)

与人员伤亡的情况类似,因台风而倒塌的房屋数也存在显著差异:1994 年倒塌的房屋最多(达 134.67 万间)、1996 年损坏及倒塌的房屋最多(分别为 512.97 万间和 585.08 万间),而 1998 年无论是倒塌、损坏或是倒塌的房屋数都是最少的一年(分别是 6145 间、18357 间和 24502 间)。

同样,不同的台风造成的房屋倒塌数也相差甚大,9406 号台风以 61.31 万间位居房屋倒塌数的首位(9711 号和 9615 号台风以 47.62 万间和 34.07 万间分列第 2、3 位),9608 号台风则以 273.0 万间、302.22 万间列房屋损坏和倒塌总数之首(9615 号和 9711 号分列第 2、3 位,其损坏房屋数分别是 21.51 万和 13.70 万间、倒房屋数分别是 24.91 万和 18.46 万间),而 8708 号台风仅造成了 6 间房屋倒塌、8409 号台风造成的房屋损坏和倒塌数仅 1 间和 15 间。

(3) 农田受淹

平均每年(1980—2004 年),台风造成中国 $1.57 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 的农田受淹。1997 年因台风受淹的农田面积最大(达 $8.3 \times 10^6 \text{ hm}^2$)、1991 年最小($3.67 \times 10^3 \text{ hm}^2$),两者相差 2 千多倍。自 1980 年以来,中国因台风而受淹的农田面积呈现出逐年增大的趋势(图 5),递增率约为 $2.78 \times 10^4 \text{ hm}^2/\text{a}$ 。值得注意的是,2000 年以来受淹的农田面积均接近或小于多年(1980—2004 年)平均,其成因有待进一步分析。

就单个台风而言,平均每个台风造成的受淹农田面积约 $2.17 \times 10^5 \text{ hm}^2$,并以 $8.8 \times 10^2 \text{ hm}^2/\text{个}$ 的速度随时间递增。其中,造成农田受淹面积最大的是 9711 号台风,为 $7.13 \times 10^6 \text{ hm}^2$;9406、9608 号台

风以 $4.63 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 和 $3.66 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 分列第 2 和第 3;其余台风均不足 $2.67 \times 10^6 \text{ hm}^2$,其中 8409 号台风最小,仅造成 22 hm^2 农田受淹。

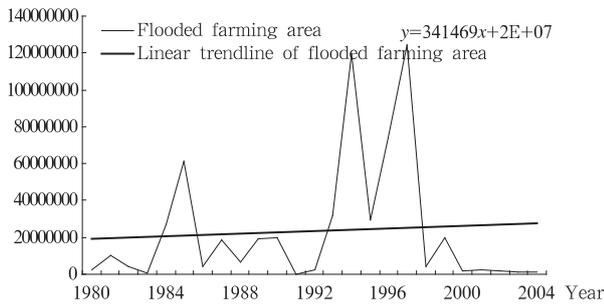


图 5 1980—2004 年中国因台风受淹的农田面积(单位:亩)

Fig. 5 Yearly inundated farmland area (unit:0.067 hm²) caused by tropical cyclones in China from 1980 to 2004 (The thick line denotes the linear trend)

(4) 直接经济损失

不计物价及货币升值率等因素,1980—2004 年,中国平均每年因台风造成的直接经济损失为 168.94 亿元人民币,平均约占当年国民生产总值(GDP)的 0.36%;平均每个台风造成 23.33 亿元人民币的直接经济损失。统计数据表明,台风造成的直接经济损失的年际差异也很大,且以 1996 年的 961.65 亿元人民币为最大(约占当年 GDP 的 1.42%)、以 1980 年的 5683.95 万元为最小(约占当年 GDP 的 0.01%)。从年际变化的趋势看,台风造成的直接经济损失有逐年增加的趋势,递增率约为 14.56 亿元/年(图 6)。

就单个台风而言,9608 号台风造成的直接经济损失最大(达 652.7 亿元人民币),造成巨灾(100 亿

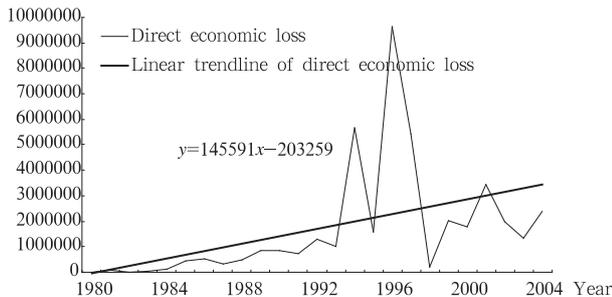


图 6 1980—2004 年台风造成中国的直接经济损失(单位:万元人民币)

Fig. 6 Yearly direct economic loss (unit: ten thousand RMB) caused by tropical cyclones in China from 1980 to 2004 (The thick line denotes the linear trend)

元以上损失)的台风还有 9711 号(436.3 亿元)、9615 号(218.6 亿元)、0414 号(203.3 亿元)、9417 号(178.5 亿元)、0104 号(169.7 亿元)和 9406 号(133.2 亿元),1 而 8006、8108、8209、8704、8824、9607 号等台风的损失则较小,均不足 100 万元。此外,1980—2004 年间,单个台风所造成的直接经济损失有以 0.33 亿元/个的速率递增的趋势。

4 台风灾情客观评估

1980—2004 年的台风灾情资料显示,有些台风造成的人员伤亡较多,但房屋倒损或受淹农田面积或直接经济损失并不高,如:8108 号台风造成 1283 人死亡,是造成死亡人数最多的单个台风,但直接经济损失却只有 4.1 万元(是直接经济损失最少的台风之一)。另一方面,台风的灾情资料也显示:有些台风造成的人员伤亡不多,但房屋倒损或受淹农田面积或直接经济损失却很大,如:0320 号台风造成了近 16.3 亿元的直接经济损失,但却仅有 2 人死亡(且无人员失踪和受伤)。由于不能将所有的灾情项目换算成单一的灾情项目(如把人员伤亡、房屋倒损和受淹农田面积都换算成直接经济损失),因而给客观评估哪类台风的灾害更重带来一定的困难。

4.1 ATDI 指数

“八·五”期间,卢文芳(1995)在分析和评估影响上海地区的台风灾害时,提出:先将台风造成的人员伤亡数、房屋倒损数和农田受淹面积进行规范化处理(即换算成规范化指数),然后将各规范化指数相加得到该台风的灾情指数(TDI 指数,记为 I_{TD}),最后引用冯利华(1993)提出的灾级概念对台风灾害进行了分级评估。此后,又有学者采用类似的方法,相继建立了浙江、广东等地的台风灾情评估方案(钱燕珍等,2001;姚棣荣等,2001;梁必骐等,2001;樊琦等,2001)。台风灾害的 I_{TD} 指数定义为(钱燕珍等,2001)

$$I_{TD} = I_d + I_h + I_e \quad (1)$$

其中, I_d 、 I_h 和 I_e 分别为规范化的人员伤亡指数、农田受淹指数和房屋倒损指数,按下式计算:

$$I_d = \begin{cases} \log d - 1 & \text{当 } d \geq 100 \text{ 人} \\ \frac{d}{100} & \text{当 } d < 100 \text{ 人} \end{cases} \quad (2.1)$$

$$I_h = \begin{cases} \log h - 2 & \text{当 } h \geq 6667 \text{ hm} \\ \frac{h}{6667} & \text{当 } h < 6667 \text{ hm} \end{cases} \quad (2.2)$$

$$I_e = \begin{cases} \log e - 2 & \text{当 } e \geq 10000 \text{ 间} \\ \frac{e}{10000} & \text{当 } e < 10000 \text{ 间} \end{cases} \quad (2.3)$$

式中, d 、 h 和 e 分别为伤亡人员数(单位:人)、受淹农田面积(单位:亩)和倒塌房屋数(单位:间)。

TDI 指数综合表征了台风造成的伤亡人数、受淹农田面积和倒塌房屋数,大致反映了台风灾害的主要方面,但却未能包含另一个重要方面,即直接经济损失。

随着社会经济的迅猛发展,诸如道路桥梁、供水供电系统和户外广告牌损毁等带来的损失越来越严重,直接经济损失还能在一定程度上体现除人员伤亡、农田受淹和房屋倒塌之外的损失(包括近年来人员转移的经济成本等)。因此,在综合表征台风灾情的指数中还应包括直接经济损失。增加了直接经济损失后的台风灾情指数(简称 ATDI 指数,记为 I_{ATD})可定义为

$$I_{ATD} = I_d + I_h + I_e + I_m \quad (3)$$

其中, I_d 、 I_h 、 I_e 、 I_m 分别为规范化的人员伤亡指数、农田受淹指数、房屋倒塌指数和直接经济损失指数。 I_d 、 I_h 、 I_e 分别按式(2.1)、(2.2)和(2.3)计算, I_m 则按下式计算

$$I_m = \begin{cases} \log m & \text{当 } m \geq 10 \text{ 亿元} \\ \frac{m}{10} & \text{当 } m < 10 \text{ 亿元} \end{cases} \quad (4)$$

式中, m 为定基直接经济损失(单位:亿元)。定义为以某一年的物价为基准,将其他各年的直接经济损失换算成以基准年物价为基准的直接经济损失。

$$m = m_0 \cdot \beta \quad (5)$$

其中, m_0 为直接经济损失, β 为定基物价比系数(经济学上系指:调查商品报告期物价水平与某一固定时期物价水平的比值,该固定时期称为基准时期,基准时期的比值为 1.0),本文将 2000 年设定为基准年。

引入定基直接经济损失的目的是要消除物价涨落等因素,将各年的直接经济损失订正到基准年的物价水平,从而使不同年份的经济损失具有可比性、对不同年份台风灾害的评估更具可比性。图 7 给出了 1980—2004 年的年环比物价指数(经济学上系指:调查商品报告年物价水平与上年物价水平的比值,上年的比值为 100%)及相对于基准年(2000 年)的定基物价比系数。可见,环比物价连年上升,相对

于 2000 年的定基物价比系数介于 0.72—6.39 之间,极值间相差近 9 倍,充分说明引入定基物价比系数、考虑不同年份直接经济损失可比性的必要性 J。

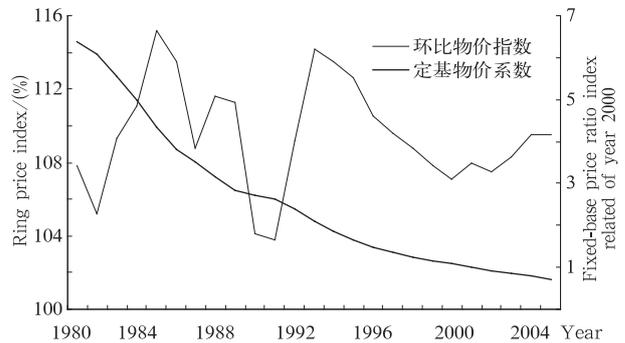


图 7 1980—2004 年中国环比物价指数及相对于 2000 年的定基物价比系数

Fig. 7 Price link relative and fixed-base price ratio with respect to year 2000 in China from 1980 to 2004

4.2 灾害等级

由式(2.1)—(2.3)及式(3)—(5),即可计算出每个致灾台风的灾情 ATDI 指数(图 8)。结果表明:1980—2004 年,中国单个致灾台风的综合灾害指数(ATDI)平均为 6.81;期间的 181 个致灾台风中,ATDI 指数最大的是 9608 号台风(其 ATDI 指数高达 171.22);9711 号和 9406 号台风分列 2、3 位,ATDI 指数值分别是 15.79 和 14.96;ATDI 指数最小只有 0.005(8409 号台风),与最大者相差 3400 多倍;从趋势上看,中国致灾台风的灾害指数 ATDI 有逐渐增大的趋势(递增率约为 0.012/个)。

为了防台减灾业务和服务的需要,将台风的灾情进行分级是必要的。本文按 ATDI 指数的大小,对 1980—2004 年的致灾台风进行聚类,并据此将致灾台风的灾害分为:轻灾(或小灾)、中灾、大灾(或中偏重灾)和重灾 4 个等级。各级灾害的 ATDI 指数取值如下。

按上述标准划分,1980—2004 年约 32%的致灾台风给中国带来了中等程度的灾害,约 30%的致灾

表 1 中国致灾台风的灾害等级划分
Table 1 Categories of disasters caused by tropical cyclones in China

灾害等级	轻灾	中灾	大灾	重灾
I_{ATD} 指数取值	$I_{ATD} \leq 8.3$	$8.3 < I_{ATD} \leq 11.1$	$11.1 < I_{ATD} \leq 12.60$	$I_{ATD} > 12.60$

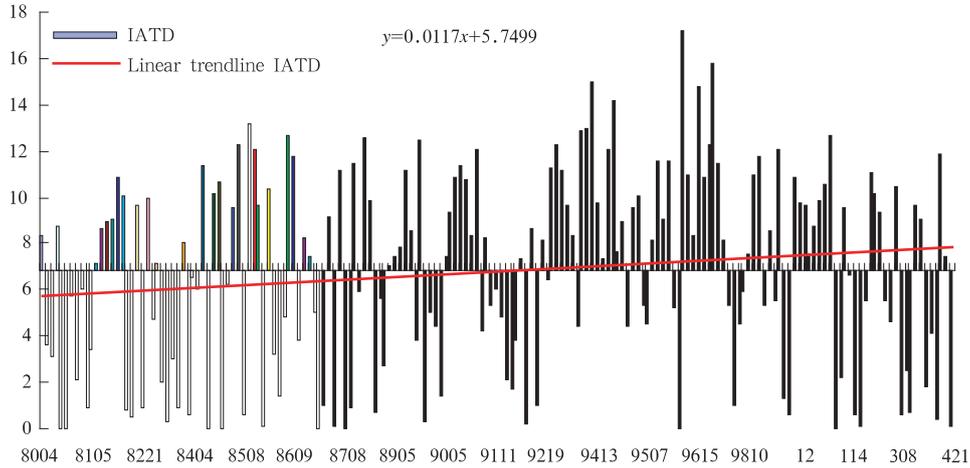


图8 1980—2004年中国各致灾台风的ATDI指数

(横坐标为台风编号(114为0114号,407为0407号),纵坐标为ATDI指数(与x轴交于 $I_{ATD}=6.81$))

Fig.8 The ATDI index of tropical cyclones causing damages in China from 1980 to 2004

The abscissa: the serial number of tropical cyclones (114 stands for No.0114, 407 stands for No.0407);the ordinate: ATDI index; the red line: linear trends (intersecting the x axis at $I_{ATD}=6.81$)

台风的灾情达到大灾或重灾(其中大灾约占总数的20%、重灾约10%),另有约38%的致灾台风的灾情较轻。

此外,1980—2004年,平均每年约有1—2个(约1.64个)台风对中国造成大灾或重灾(年均重灾台风约0.52个)。各级灾害的单个致灾台风平均造成的人员伤亡、房屋倒损、农田受淹和直接经济损失(系指以2000年为基准的定基直接经济损失)列于表2。

表2 中国各级灾害的单个致灾台风的平均灾情

Table 2 The average damage caused by single tropical cyclones for various disaster categories in China

	伤亡人数 (人)	倒损房屋 (万间)	受淹农田面 积(10^4 hm^2)	定基(以2000年 为基准年)直接 经济损失(亿元)
轻灾	78.7	3.27	0.43	9.25
中灾	453.5	13.04	1.29	22.18
大灾	1240.1	28.81	3.89	47.16
重灾	12979.0	108.34	12.55	234.40

类似地,若将某年因台风造成的人员伤亡、房屋倒损、农田受淹和直接经济损失代入公式(2)—(5),则可以获得该年的台风灾害指数(ATDI),图9即是1980—2004年中国台风灾害指数的逐年变化。

由图9可见,20世纪90年代中期,中国的台风灾害较为严重,其中1996年最重,而1998年则是

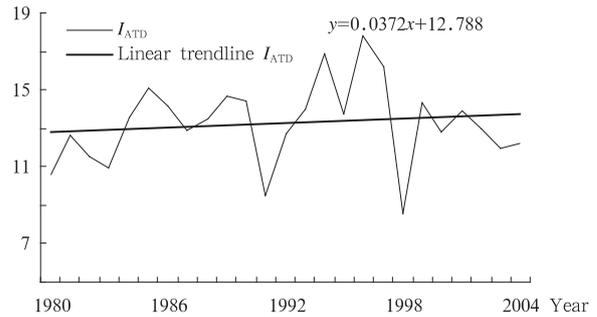


图9 1980—2004年中国台风灾害指数的年变化

Fig.9 Temporal variation of yearly ATDI index in China from 1980 to 2004

(The thick line denotes the linear trend)

1980—2004年台风灾害最轻的年份。从趋势上看,中国的台风灾害随着时间的推移呈现弱的逐年递增趋势。

若将ATDI值介于均值(B)和正、负一个标准差(S)视为台风灾害正常年,而 $AI_{ATD} > B + 0.5 * S$ 视为台风灾害偏重年、 $I_{ATD} > B + S$ 视为台风重灾年、 $I_{ATD} < B - 0.5 * S$ 视为台风灾害偏轻年、 $I_{ATD} < B - S$ 视为台风轻灾年,则可基于某年的 I_{ATD} 值评估该年的台风影响年景。据此,可以判定1980—2004年,中国台风灾害偏轻的年份有:1998、1991、1980、1983、1982、2003和2004年,其中1998、1991、1980、1983、1982年为台风轻灾年;台风灾害

偏重的 9 年份有: 1996、1994、1997、1985、1989、1990、1999 和 1986 年, 其中 1996、1994、1997、1985 年为台风重灾年。

5 结论与讨论

基于 1980—2004 年, 中国因台风造成的人员伤亡、房屋倒损、农田受淹及直接经济损失等灾情资料的分析 and 客观评估, 获得了以下主要结论:

(1) 平均每年约有 7.2 个台风对中国造成明显灾情, 最多的年份多达 11 个(1985 年)、最少年份(1998 年)也有 4 个。

(2) 中国因台风平均每年造成: 伤亡的人员数约 9412.8 人(死 577.3 人, 伤 8835.5 人)、倒损的房屋数约 123.56 万间(倒塌 29.69 万间, 损坏 93.87 万间)、受淹的农田面积约 $1.57 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 、直接经济损失约为 168.94 亿元(平均约占当年 GDP 的 0.36%)。单个致灾台风, 平均约造成: 1300.1 人伤亡(死 79.7 人, 伤 1220.4 人)、17.07 万间房屋倒损(倒 4.102 万间, 损 12.97 万间)、 $2.17 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 农田受淹、23.33 亿元直接经济损失。

(3) 1996 年是 1980—2004 年中国台风灾情最严重的一年, 是造成人员伤亡最多(12.27 万人, 其中死 1508 人、伤 12.12 万人)、房屋损坏最多(512.97 万间)、直接经济损失最多(961.65 亿元, 约占当年 GDP 的 1.42%)的一年。1997 年次之, 同时也是造成农田受淹面积最多($8.33 \times 10^6 \text{ hm}^2$)的一年。1998 年则是中国台风灾情最轻的一年, 也是因台风造成的人员伤亡最少(12 人, 6 死 6 伤)、房屋倒塌和损坏最少(分别为 6145 和 18357 间)的一年。此外, 1991 年和 1980 年的台风灾情均较轻, 其中 1991 年还是受淹农田面积最少(仅 $3.67 \times 10^3 \text{ hm}^2$)的一年、1980 年则是直接经济损失最小(5683.95 万元, 约占当年 GDP 的 0.01%)的一年。

(4) 9608 号台风是 1980—2004 年, 中国灾情最为严重的台风, 造成的人员伤亡最多(11.3 万人, 其中死 779 人、伤 111977 人)、房屋损坏和倒损最多(分别为 273.0 万间、302.22 万间)、直接经济损失也最大(652.7 亿元)。9711 号台风是中国灾情第二严重的台风, 它同时也是造成中国农田受淹面积最大($7.13 \times 10^6 \text{ hm}^2$)的台风。8409 号台风则是所有致灾台风中灾情最轻的台风, 它造成的房屋损坏和倒塌最少(分别为 1 间和 15 间)、受淹农田面积也最

小(仅 22 hm^2)。

(5) 从趋势上看, 中国致灾台风的频数逐年递减(速率 0.8 个/10 年)、造成的死亡人数逐年下降(速率 24.9 人/年), 但因台风造成的灾害则逐年趋重, 表现为伤亡总人数逐年上升。(速率 405.9 人/年)、倒损房屋逐年递增(速率 1.33 万间/年)、受淹的农田面积逐年增大(速率 $2.28 \times 10^4 \text{ hm}^2/\text{a}$)和直接经济损失逐年增加(速率 14.56 万元/年)。单个台风造成的死亡人数略有减少(递减率为 0.3 人/个)、伤亡人数略有增加(递增率为 11.4 人/个)、倒损房屋数增加(581.4 间/个)、受淹农田面积增加(递增率 $8.8 \times 10^2 \text{ hm}^2/\text{个}$)、直接经济损失增加(递增率 0.33 亿元/个)。

台风所带来的影响和灾害是多方面的, 灾情资料的完整性和准确性是关系到台风灾害特征的代表性、关系到台风灾情评估的客观性和不确定性。由于整编资料的样本所限, 本文仅使用了 1980—2004 年的台风灾害资料, 给出的台风灾情评估方法也仅考虑了人员伤亡、房屋倒损、农田受淹及直接经济损失等 4 个方面。如何在计算灾情指数时充分利用不完整的资料(如船舶翻沉和损坏、道路和桥梁等交通设施损坏、保险和理赔等)以及人口大量转移等新近出现的防台减灾措施带来的成本等, 有待进一步研究; ATDI 指数的计算方法和灾级划分标准等的适用性也有待业务服务的检验。

References

- Cai Zeyi, Xu Liangyan, Xu Yuantai. 1995. A study on the tropical cyclones disasters in China. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 18(S1): 826-836r
- Guard C P, Lander M A. 1999. A scale relating tropical cyclone wind speed to potential damage for the tropical Pacific Ocean region: A user's manual. WERI Technical Report 86, University of Guam, Mangilao, Guam, 60pp
- Fan Qi, Liang Biqu. 2000. A fuzzy mathematics evaluation of disastrous economic losses caused by tropical cyclones. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 020(3): 360-366
- Feng Lihua. 1993. Quantitative calculation of disaster losing. *Catastrophology* (in Chinese). Hangzhou: Zhejiang People's Publishing House, 17-19
- Huang Ronghui, Chen Guanghua. 2007. Research on interannual variations of tracks of tropical cyclones over northwest Pacific and their physical mechanism. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 65(5): 683-694
- Huang Wei, Duan Yihong, Xue Jishan, et al. 2007. Operational ex-

- periments and its performance analysis of the tropical cyclone numerical model (GRAPES-TCM). *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 65(4):578-587
- Liang Biqi, Fan Qi, Yang Jie, et al. 1999. A fuzzy mathematic of the disaster by tropical cyclones. *J Tropical Meteorology* (in Chinese), 15(4):305-311
- Liang Biqi, Liang Jingping, Wen Zhiping. 1995. Study of typhoon disasters and its affects in China. *J Natural Disasters* (in Chinese), 4(1):84-91
- Lu Wenfang. 1995. Assessment and prediction of disastrous losses due to tropical cyclones in Shanghai. *J Natural Disasters* (in Chinese), 4(3):40-45
- Qian Yanzhen, He Caifen, Yan Yuanqin, et al. 2001. An assessment of damage index for tropical cyclones. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 27(1):14-18
- Saffir H S. 1972. The nature and extent of structural damage caused by Hurricane Camille. National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, DC
- Simpson R H. 1974. The hurricane disaster potential scale. *Weatherwise*, 27: 169-186
- Sheifer I C, Ellis J O. 1986. Development of a tropical cyclone damage assessment methodology. NOAA Technical Memorandum NESDIS AISC 4: 42pp
- Xu Liangyan. 1994. An analysis of typhoon disasters in China. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 10(20):50-55
- Yao Dirong, Liu Xiaolin. 2001. The assessment of disastrous losses caused by tropical cyclones in Zhejiang Province. *J Zhejiang University* (Sciences Edition) (in Chinese), 28(3):344-348
- Ye Wen. 2002. The characteristics of typhoon disaster and disaster countermeasures in Guangdong Province. *J Catastrophology*, 17(3):54-59

附中文参考文献

- 蔡则怡,徐良炎,徐元太. 1994. 我国热带气旋灾害的分析研究. *大气科学*, 18(S1):826-836
- 樊琦,梁必骐. 2000. 热带气旋灾害经济损失的模糊数学评测. *气象科学*, 20(3):360-366
- 冯利华. 1993. 灾害损失的定量计算,灾害学. 浙江人民出版社,17-19
- 黄荣辉,陈光华. 2007. 西北太平洋热带气旋移动路径的年度变化及其机理研究. *气象学报*, 65(5):683-694
- 黄伟,端义宏,薛纪善等. 2007. 热带气旋路径数值模式业务试验性能分析. *气象学报*, 65(4):578-587
- 梁必骐,樊琦,杨洁等. 1999. 热带气旋灾害的模糊数学评价. *热带气象学报*, 15(4):305-311
- 梁必骐,梁经萍,温之平. 1995. 中国台风灾害及其影响的研究. *自然灾害学报*, 4(1):84-91
- 卢文芳. 1995. 上海地区热带气旋灾情的评估和灾年预测. *自然灾害学报*, 4(3):40-45
- 钱燕珍,何彩芬,杨元琴等. 2001. 热带气旋灾害指数的估算与应用方法. *气象*, 27(1):14-18
- 徐良炎. 1994. 我国台风灾害的初步分析. *气象*, 10(20):50-55
- 姚棣荣,刘孝麟. 2001. 浙江省热带气旋灾情的评估. *浙江大学学报(理学版)*, 28(3):344-348
- 叶雯. 2002. 广东省台风灾害特点及减灾对策. *灾害学*, 17(3):54-59