

中国台风强度等级与可能灾害损失标准研究

殷 洁^{1,2}, 戴尔阜¹, 吴绍洪¹, 潘 韬¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 农业部规划设计研究院, 北京 100125)

摘要: 台风灾害给中国沿海地区造成了严重损失, 进行台风风险评估将为台风灾害有效规避提供科学依据, 探讨台风强度等级和灾害损失之间的关系是台风风险定量评估的基础。利用1954-2008年间登陆中国东南沿海的174场成灾台风路径数据和对应的灾情记录数据, 对台风强度等级和承灾体(农作物、人口、房屋和社会经济)的8项指标的损失数量关系进行分析, 并对台风强度等级与各项损失率指标之间的关系进行拟合, 得出各项灾损指标的损失率曲线。基于台风强度等级划分标准和损失率曲线, 建立了适合于我国的四个强度等级的台风灾害损失标准划分方案: 微度、轻度、中度和重度, 对应的损失率用承灾体的社会经济指标来表征。研究表明: 当台风强度等级达到第4等级时, 灾害造成的损失率均有较大幅度的增加。本文构建的台风灾害损失标准可为进一步定量评估承灾体脆弱性及损失风险提供依据和参考。

关键词: 台风; 强度等级; 灾害损失; 损失标准

1 引言

台风是全球发生频率高、影响严重的一种自然灾害, 是当今全球人类面临的重大自然灾害^[1]。全球每年约发生80次破坏力极强的台风, 每年造成约1.5~2万人死亡, 60~70亿美元经济损失^[2]。中国是世界上受台风影响最严重国家之一, 从华南到东北沿海地区, 如台湾、海南、广东、广西、福建、浙江、江西、湖南、上海、安徽、江苏、山东、天津、辽宁都受其威胁^[3], 每年大约有8次台风登陆, 造成400余人死亡, 逾260亿元人民币的经济损失^[4]。在沿海地区的各种自然灾害中, 台风灾害造成的损失最为严重^[5]。因此, 对台风灾害损失和风险进行定量评估一直是我国防灾减灾工作的重要内容之一。

20世纪90年代以来, 学者在台风灾害的危险性和风险评估方面已经进行了一系列研究。台风危险性方面, 对影响和登陆中国的热带气旋活动特征、台风灾害特点及其形成规律进行了分析^[6]; 危险性评估指标选取方面, 采用极值风速、台风灾害灾次指数、台风综合灾度(综合风速、降水因子), 作为评价台风危险性的程度指标^[7-9]; 危险性评估模型方面, 采用台风灾害直接经济损失评估模型, 采用可拓方法, 建立物元模型, 对区域台风损失及危险性评估^[10,11]。目前进行的台风灾害的风险评估偏重于等级评估的半定量化分析, 如: 采用打分法对广西沿海进行台风灾害风险评估^[12]; 从台风致灾因子(台风暴雨和台风大风)强度、承灾体(人口密度、人均GDP、农业占GDP的比重)易损性, 综合反映广东省的台风风险^[13]; 通过计算灾害风险指数, 采用加权综合评价法进行福建台风灾害风险

收稿日期: 2012-08-15; 修订日期: 2012-12-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(40830741, 41071060); 国家科技支撑计划项目(2008BAH31B01); 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-YW-Q03-01)

作者简介: 殷洁(1983-), 女, 内蒙古人, 博士, 主要从事自然灾害研究。E-mail: yinjie06@yahoo.com.cn

通讯作者: 戴尔阜, 男, 研究员, 博士生导师。E-mail: daief@igsnrr.ac.cn

评估和区划^[14]；基于福建台风灾害的危险性、承灾体的脆弱性，进行风险评估与区划^[15]；在分析人员伤亡、农田受淹面积和房屋倒损的灾情数据基础上，利用 ArcGIS 空间分析对上海台风灾害进行风险评估^[16]；基于台风灾害发生次数与潜在社会易损性，对中国南方沿海8省市风险进行了评估^[17]。

目前，中国自然灾害风险评估的一般思路是将灾害危险性和脆弱性分等定级，并按风险事件发生的概率确定其可能性等级，结合损失强度设定风险事件的强度等级，最终根据风险评估矩阵表示风险等级^[18]，这种方法的主要不足在于对风险等级评估结果只能定性的表达为风险的高低，但不能定量表达风险损失的数量，未能体现各风险等级灾害损失的具体内容，如人员伤亡、经济损失和资源环境破坏等^[19]。如前文所述，尽管中国在台风灾害风险评估领域开展了大量工作，但同样存在难以定量表达风险损失数量的问题。定量的台风灾害风险评估需要建立灾害强度与损失之间的关系，构建台风的损失标准，即台风强度与损失率间的定量关系，从而为台风损失评估、风险评估提供量化的依据。本文基于登陆中国的台风数据和台风灾情资料，通过分析台风强度等级与台风灾害损失之间的关系，以此构建我国的台风灾害损失标准，研究台风强度等级与灾害损失之间的定量关系，为我国台风灾害风险评估提供科学基础。

在相关文献中，多数学者对大于等于8级风力的热带气旋所采用的名称仍沿用“台风”。在本文中，无特别说明的情况下，“台风”是指造成灾害损失的热带风暴、强热带风暴、台风、强台风、超强台风在内的热带气旋的统称，为不同等级的热带气旋的组合。

2 资料来源与研究方法

2.1 指标确定

台风发生过程的强风、暴雨以及风暴潮、海浪等都将成致灾因子。其致灾强度除了用频率来衡量外，还可以采用大风和暴雨进行评定^[7,13]。表征台风暴雨强度的指标较多，主要包括过程总降雨量、日最大降雨量、1 h最大降雨量等^[20]；风暴潮强度指标，多以验潮站实测到的潮水水位来表示^[21]。目前，研究中考考虑强风作用的工作开展的比较多^[22]。台风过程中大风是主导因子和动力条件，风力作用下承灾体受到严重影响^[23]，有研究对台风大风与灾情关系进行分析，结果显示上海台风受灾程度与最大风速有很好的正相关关系^[24]。本研究采用风速指标来表征台风的强度特征。

台风所伴生的大风强度一般用气旋底层的中心最大风力（速）或中心气压值表示。根据我国的《热带气旋等级标准》（GB/T19201-2006）^[25]，可接近中心最大风力（速）划分为六级：热带低压（10.8~17.1 m/s），热带风暴（17.2~24.4 m/s），强热带风暴（24.5~32.6 m/s），台风（32.7~41.4 m/s），强台风（41.5~51.0 m/s）和超强台风（>51.0 m/s）；按气旋登陆时的中心最大风力，把热带气旋分为三级：一般（8~9级），较重（10~11级）和严重（≥12级）^[26]；也可以按平均最大风速，将台风灾度等级分为四级：轻（<25 m/s），低（25~28 m/s），中（28~31 m/s）和高（>31 m/s）^[9]。本文台风强度以每个台风路径点前2分钟内的平均风速值为准，采用中国气象局上海台风研究所（CMA-STI）热带气旋路径数据集^[27]的划分方案，共分六个等级，分别对应于《热带气旋等级》国家标准（GB/T 19201-2006）中六个级别划分类型，如表1，由于收集到的台风灾情数据中未见热带低压造成的灾情记录，因而本文中只对2~6等级的台风进行分析。

为了便于对不同地区、不同省份之间的灾害程度进行比较,根据灾害系统理论,台风灾害的形成应该是台风致灾因子对承灾体作用产生的结果^[28]。致灾因子强度最终体现在灾情上,台风灾情主要体现在人员伤亡、作物受灾绝收、房屋倒塌以及经济损失多方面。刘艳华等提出受灾人口、死亡人口、受灾面积、成灾面积、直接经济损失5个绝对指标和受灾人口占总人口百分比、受灾面积占总播种面积百分比以及直接经济损失与平均工农业生产总值的比值3个相对指标用于水旱灾害的灾害等级划分^[29,30]。台风灾害造成的损失是多方面的,可以用不同的标准去衡量,从以下三个方面去衡量是比较全面的:一是主要社会指标,包括受灾人口、死亡人数、受伤人数、紧急安置人口;二是范围指标,包括农作物受灾面积;三是主要经济指标,包括农作物绝收、倒损房屋、直接经济损失等。本文损失指标包括农作物受灾面积、农作物绝收面积、受灾人口、死亡人口、受伤人口、紧急安置人口、倒塌房屋数量、直接经济损失8个方面。

2.2 数据来源与处理

2.2.1 数据来源 本文主要用到台风灾情数据、台风强度数据、台风灾害承灾体数据(包括人口、耕地面积、GDP和房屋数据),用来分析台风强度等级与损失之间的关系;采用气象站点降水数据作为提取台风影响范围的辅助数据。各项数据来源如下:

(1) 台风灾情数据来源于国家气象局中国热带气旋灾害数据集、国家减灾中心灾害信息部和中国科学院减灾中心汇集的各种灾情中的1954-2008年间记录的174次台风灾情数据,此灾情数据包括台风编号、台风名称、登陆时间、台风强度、农作物受灾面积、农作物绝收面积、受灾人口、死亡人口、受伤人口、安置人口、倒塌房屋、直接经济损失;

(2) 台风强度数据来源于中国台风网《西北太平洋热带气旋路径数据集》^[27],该数据集除了记录了台风编号及其名称,还记录了台风中心每隔6小时的位置(经度、纬度)、近中心最大风速、近中心最低气压和台风强度信息;

(3) 全国县域人口、耕地面积、GDP数据,源自2008年全国分省统计年鉴;

(4) 房屋数量来源于全国第五次(2000年)人口普查数据,主要信息包括分县家庭户数、房屋间数等,结合各县市历年人均住房面积,得到全国分县房屋总数;

(5) 降水数据来自于中国气象局国家气候中心提供的577个气象站点1954-2008年间的逐日降水数据,以此为参考确定台风影响范围。

2.2.2 数据处理方法 根据174次台风灾情数据中的台风编号和登陆时间,将热带气旋最佳路径数据在ArcGIS9.3中生成台风路径图(图1),再根据台风影响区域的总暴露量,计算损失率。具体处理过程如下:

首先,选择台风影响的区域范围。尽管在灾情数据里有关于影响范围的描述,但不详尽,为了确定准确的影响范围,根据每隔6小时台风中心位置点在ArcGIS软件平台上生成每次台风路径,1954-2008年间主要有174场符合台风灾情记录。根据台风风场模型,一个台风过程主要影响周边200~300km的范围,本文中参照周俊华^[31]的做法,选择200km做缓冲区,再根据台风过程时段内,受影响省份气象站点有明显降水的区域视为台风影响

表 1 热带气旋强度等级划分方案

Tab. 1 Division of tropical cyclone intensity grade			
强度等级	等级类型	平均风速(m/s)	风力(级)
1	热带低压	10.8~17.1	6~7
2	热带风暴	17.2~24.4	8~9
3	强热带风	24.5~32.6	10~11
4	暴	32.7~41.1	12~13
5	台风	41.5~50.9	14~15
6	强台风	≥ 51.0	≥ 16

范围。

其次，计算影响区的总暴露量。将提取出的影响区域内的耕地面积、人口、房屋数量、GDP值进行求和，得到影响区内的暴露总量，如下式：

$$E_i = \sum_{j=1}^n e_{ij} \quad (1)$$

式中： E_i 为第*i*种承灾体总暴露量， $i=1, 2, 3, 4$ 分别为耕地面积、人口、房屋数量和GDP四种承灾体， e_{ij} 为第*j*个县的第*i*种承灾体暴露量， $j=1, 2, \dots, n$ 。

最后，计算各个损失指标的损失率。根据灾情数据中每场台风各项损失数量和对应区域的暴露总量，分别计算农作物受灾率、农作物绝收率、人口受灾率、人口死亡率、人口受伤率、紧急安置人口比率、房屋倒塌率及直接经济损失率：

$$r_{il} = \frac{L_{il}}{E_i} \quad (2)$$

式中： r_{il} 为第*i*种承灾体第*l*个指标的损失率， $l=1, 2, \dots, 8$ ， r_{il} 分别代表农作物受灾率、农作物绝收率、人口受灾率、人口死亡率、人口受伤率、紧急安置人口比率、房屋倒塌率及直接经济损失率，共8个指标， L_{il} 为每一场台风第*i*种承灾体第*l*个指标的损失量， E_i 为第*i*种承灾体的总暴露量。

需要指出的是，由于历次台风影响范围描述模糊，导致的承灾体总暴露量统计数据的不足， E_i 的计算采用如下处理：每场台风人口暴露总量按照全国平均人口增长率（式3），以2008年影响区域人口总数为基数求得对应年份人口暴露量；GDP暴露总量采用GDP平减指数（式4）^[32]，计算相对于基期1978年的逐年GDP平减指数，再根据2008年GDP数据折算为对应年份的经济暴露量，耕地面积和房屋数据比较难以处理，仍采用2008年的统计数据

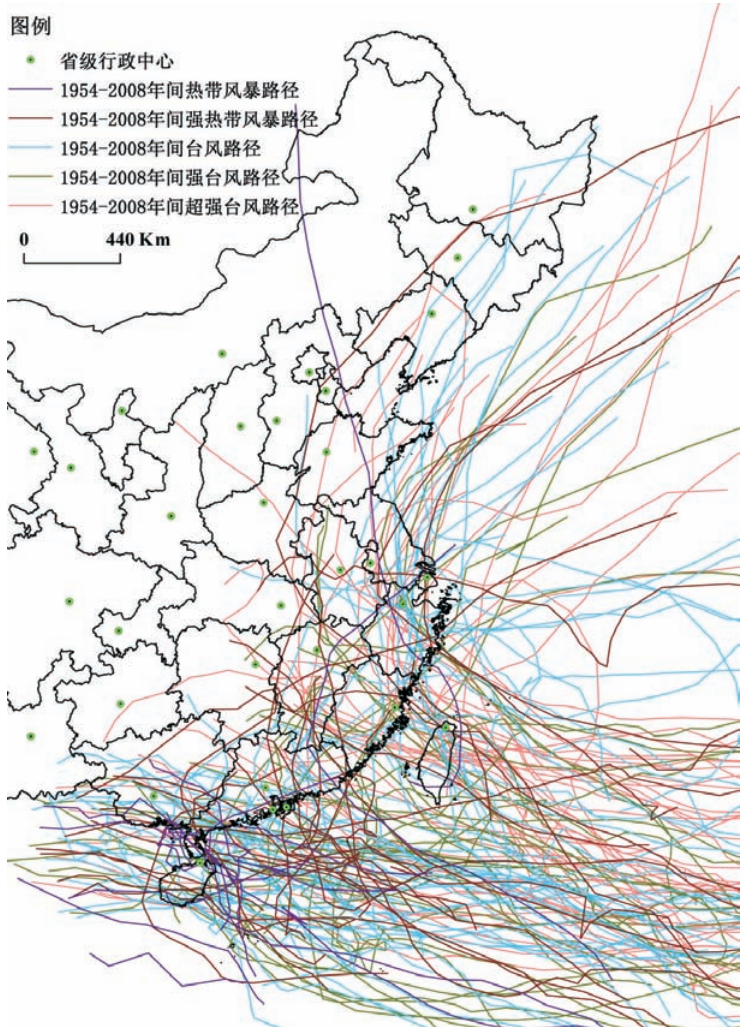


图1 1954-2008年间174场热带气旋路径

Fig. 1 The 174 tropical cyclones track lines from 1954 to 2008

统计数据。需要指出的是，由于历次台风影响范围描述模糊，导致的承灾体总暴露量统计数据的不足， E_i 的计算采用如下处理：每场台风人口暴露总量按照全国平均人口增长率（式3），以2008年影响区域人口总数为基数求得对应年份人口暴露量；GDP暴露总量采用GDP平减指数（式4）^[32]，计算相对于基期1978年的逐年GDP平减指数，再根据2008年GDP数据折算为对应年份的经济暴露量，耕地面积和房屋数据比较难以处理，仍采用2008年的统计数据

$$r_n = \frac{V_{2008} - V_n}{V_{2008}} \times 100\% \quad (3)$$

$$GDPDeflator(n) = \frac{GDP_n}{IGDP_n} \times \frac{IGDP_{1978}}{GDP_{1978}} \quad (4)$$

式中： r_n 为2008年相对于第 n 年的人口增长率， V_n 为第 n 年的人口数， $GDPDeflator(n)$ 为第 n 年的GDP平减指数， GDP_n 为第 n 年的GDP值， $IGDP_n$ 为第 n 年的GDP指数， $IGDP_{1978}$ 为1978年的GDP指数为100， GDP_{1978} 为1978年的GDP值。

3 结果分析

3.1 台风强度等级与灾害损失的关系

台风灾害损失关系研究，是通过灾害强度与损失的数量关系来定量表达灾害影响程度的过程，是构建台风灾害损失标准的基础。理论上，灾害损失标准应该通过试验方法获得台风物理能量与承灾体的作用关系得到，鉴于目前此类实验难以实现，所需数据只能从历史灾害数据中获得^[19]。通常不同强度等级的台风所造成的灾害损失是具有统计学规律的，即相同强度等级的台风造成的损失处于一个相对稳定的范围之内，也就是说是一定数量的台风强度等级与损失之间有统计上的普遍相关关系。因而，利用台风灾情记录中149个农作物受灾面积记录、30个农作物绝收面积记录、76个受灾人口记录、149个死亡人口记录、59个受伤人口记录、36个紧急安置人口记录、49个倒塌房屋记录和119个直接经济损失数据记录作为损失量指标，采用台风等级作为强度的衡量指标，分别计算每一强度等级台风造成的平均损失数量（表2）。从表2可见，随着台风强度的增大，各项损失量也呈现出增加的趋势。说明台风强度等级与各项损失的绝对值呈现较好的相关性，这是在考虑空间均质性的基础上呈现的相关关系，而对于社会经济空间布局的空间异质性特征或者具体的区域差异，不具有不同区域间的普遍性，也就是说，在一个区域一定强度等级的台风会造成一定数量的损失，但由于区域社会经济要素空间分布格局的差异性，同等强度的台风在另一区域未必造成同样数量的损失，这种处理方法的优点体现在构建了统计学上的台风等级与灾害损失之间的关系，更为适合长时间尺度和大的空间区域台风灾害风险评估。因此，需要构建一种具有普遍应用意义的台风损失标准，而台风相对损失指标“损失率”可以在不同区域均可适用且有可比性，故可用来构建台风的损失标准。

表 2 不同强度等级台风损失均值

Tab. 2 The average losses of different intensity grade typhoons in China

台风强度等级	农作物受灾面积 (10 ³ hm ²)	农作物绝收面积 (10 ³ hm ²)	受灾人口(万人)	死亡人口(人)	受伤人口(人)	紧急安置人口(万人)	倒塌房屋(万间)	直接经济损失(亿元)
2	102.06	17.12	190.82	57.83	359.50	9.12	16.11	11.40
3	253.68	29.61	364.51	67.10	556.08	35.53	17.61	20.61
4	333.64	74.34	771.14	102.92	829.60	46.03	20.78	30.24
5	645.58	92.90	868.95	254.96	1421.89	119.12	25.52	37.38
6	718.75	151.15	1062.77	500.55	1672.08	134.52	30.38	51.07

3.2 台风灾害损失率曲线

通过台风灾害损失关系分析，基于上述结果，采用式（1）和式（2）算法，确定每场台风的影响区域，计算台风灾害损失率，构建台风强度等级与各项损失率间的关系曲线。在自然灾害损失标准构建中采用“平均损失率”可以反映不同强度灾害造成的损失程度^[33,34]。同样，一定强度等级的台风所造成的灾害损失率处于一个较稳定的范围之内，所

以，某一强度的台风也会造成承灾体一定比例的损失，这即是结合灾害强度等级和损失量的台风灾害损失率曲线。

分别构建农作物、人口、房屋和经济四种承灾体8个指标（农作物受灾面积、农作物绝收面积、受灾人口、死亡人口、受伤人口、安置人口、倒塌房屋、直接经济损失）受不同强度等级台风影响下的损失率曲线（图2）。从图2可以看出，不同强度等级的台风灾害与承灾体损失率之间存在明显的指数正相关关系， R^2 除了农作物受灾面积率为0.915，直接经济损失率为0.944外，其余指标均达到0.95以上，表明随着台风强度增强承灾体损失率呈指数增长，台风越强，损失率越高，当台风强度等级达到第4等级（台风）时，各项损失率均有急剧增加的趋势。

在构建风速强度与损失率的关系中，指数函数确实能反映灾害的影响程度，但结果需要考虑极高强度等级台风灾害数据量不足造成拟合曲线在最高强度等级灾害中渐趋平缓的情况，即发生最大强度等级灾害承灾体全部损毁的情景^[35]，本文由于数据量的限制，曲线形式为标准指数函数。

3.3 台风灾害损失标准

一定强度的台风发生时，总会造成农作物、人员、房屋和经济多方面的损失，不同强度的台风会造成何种程度的损失，这是台风灾害风险评估的重要基础和关键内容，在风险评估研究中具有非常重要的理论和实践意义。

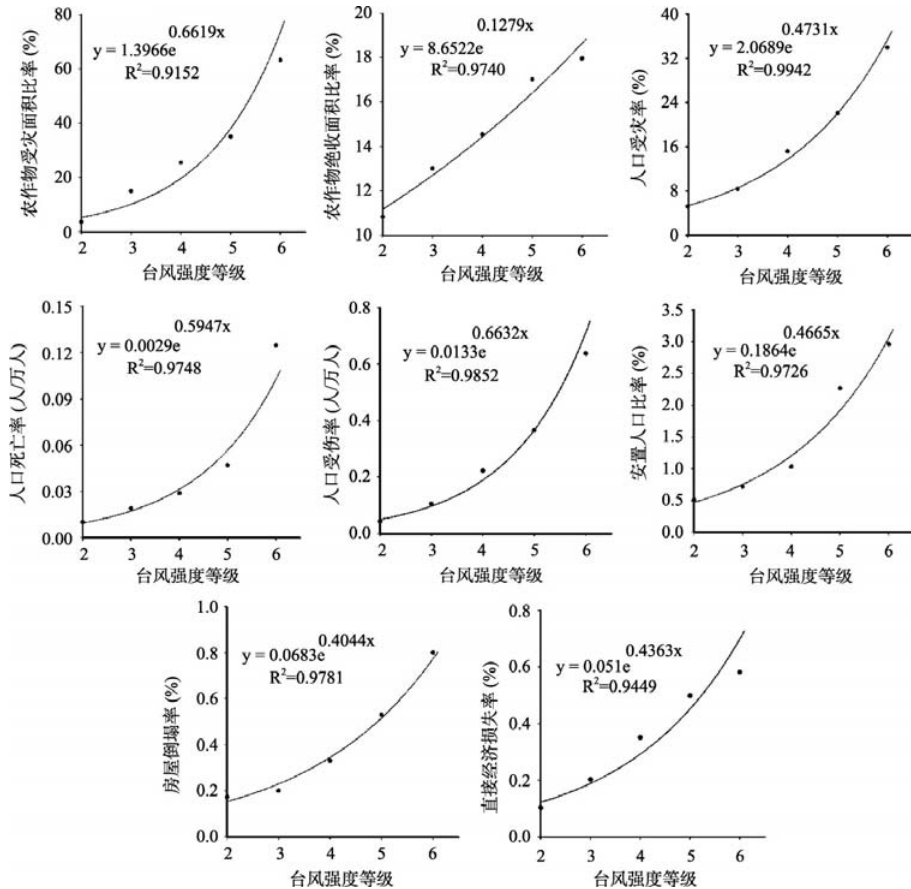


图 2 中国台风灾害承灾体损失率曲线

Fig. 2 The loss rate curves of typhoon hazard resilient society in China

目前台风灾害风险评估研究中,多以风险等级高低来定性划分^[14,36],实现台风灾害风险的准确评估关键问题在于难以确定台风强度与灾害损失间的定量关系。在本文中,通过分析台风灾害强度等级与各承灾体损失之间的关系,发现两者间存在较好的相关性,进而确定台风强度等级与承灾体损失率间的定量关系。

台风强度等级依据已有研究,结合我国热带气旋等级标准,对造成损失的台风进行损失标准的分析构建,因强度较弱的2、3等级(热带风暴、强热带风暴)造成损失较小,合为微等级的台风灾害,4、5、6等级分别对应的台风、强台风、超强台风单独划分为一级,对应台风灾害等级的轻、中、重,共划为四级。对应台风强度等级的8项灾害损失率作为台风灾害承灾体8要素的损失标准。根据上文分析,台风灾害损失标准实际指的是对应强度等级的损失率的平均值,最终构建中国的台风灾害损失标准(表3)。

上述台风灾害损失标准是基于影响我国东部沿海地区,以及内陆部分省份的174次台风灾情构建的,在统计学意义上,这个标准可以表征每个强度等级台风发生时所造成的各项承灾体的损失。

由表3可见,微度台风灾害时各项损失标准均处于较低的比率,随着强度增强,损失程度加大,其中,对于农作物影响最为严重(63.25%受灾)。

人口死亡率、受伤率、倒塌房屋比率和直接经济损失这几项指标在四种强度台风灾害影响下损失程度数量级别都较低,可见虽然中国频繁遭受台风袭击,但仍然具有一定的防灾能力确保社会经济系统避免惨重的损失。

4 结论与讨论

(1) 台风强度等级与各项灾害损失量之间存在较好的正相关关系,台风强度越大,灾害损失量也越大。

(2) 随着台风强度增强承灾体损失率呈指数增长,当台风强度等级达到第4等级时,各项损失率均有急剧增加的趋势。

(3) 构建四级台风灾害损失标准:微度、轻度、中度和重度,在此标准基础上可以进行进一步的台风灾害定量研究。

对比相关研究,Huang等利用飓风保险数据建立的地面平均风速与经济损失率的关系,呈现指数形式^[37];Dorland等采用1987-1992年间的风暴灾害事件保险数据构建的适合荷兰一西北欧的风速(最大阵风速度、每小时最大平均风速)与私人住宅和商业损失的函

表 3 中国台风灾害损失标准

Tab. 3 Criteria of typhoon disaster loss in China

台风灾害 强度等级	台风强度 等级	风速(m/s)	农作物受 灾率(%)	农作物绝 收率(%)	人口受灾 率(%)
微度	2~3	17.2~32.6	15.00	13.01	6.75
轻度	4	32.7~41.4	25.44	14.54	15.16
中度	5	41.5~50.9	35.12	17.01	21.99
重度	6	≥ 51.0	63.25	17.95	33.93

台风灾害 强度等级	人口死亡率 (人/万人)	人口受伤率 (人/万人)	安置人口 率(%)	房屋倒塌 率(%)	直接经济 损失率(%)
微度	0.0146	0.0741	0.62	0.20	0.15
轻度	0.0289	0.2226	1.03	0.33	0.35
中度	0.0469	0.3663	2.27	0.53	0.50
重度	0.1248	0.6379	2.96	0.80	0.58

数,损失曲线也呈指数形式,且损失率处于较低的比重,如商业损失占总GDP的0.5%^[35]。与上述研究相比,本文结论在我国也具有一定的合理性,此台风灾害损失标准的意义在于确定了不同强度等级台风的破坏程度,可以结合不同区域的物理暴露量,达到定量评估台风灾害造成的不同承灾体的绝对损失量的目的。

由于缺乏长时间序列的四种承灾体(农作物、人口、房屋和GDP)在对应台风事件中的暴露量数据,构建的台风灾害损失标准,是基于2000年的房屋数据和2008年的分县统计数据,人口、社会经济数据采用相关处理方法得到对应年份的总暴露量,而耕地面积和房屋总暴露量直接采用2008年统计数据和第五次人口普查数据代替,这样处理可能会对结果的“精确性”产生影响,对于此标准的误差验证,还需要更加完善的灾情数据,需要在以后的研究进一步深化。由于损失标准反映的是一定强度等级的台风造成的损失率会处于一个相对稳定的范围之内的概念,因此,在现有条件下,此标准仍具有一定的理论意义,可以为进一步的台风灾害承灾体脆弱性和风险评估提供依据。

参考文献 (References)

- [1] 周俊华,史培军,范一大,等.西北太平洋热带气旋风险分析.自然灾害学报,2004,13(3): 146-151.
- [2] 黄蕙.基于情景的台风灾害风险评估研究.上海:上海师范大学硕士学位论文,2009.
- [3] 梁必骐.中国沿海的台风灾害及其对经济发展的影响.见:中国灾害防御协会.论沿海地区减灾与发展——全国沿海地区减灾与发展研讨会论文集.北京:地震出版社,1991. 232-235.
- [4] 王军,许世远,石纯,等.基于多源遥感影像的台风灾情动态评估研究进展.自然灾害学报,2008,17(3): 22-28.
- [5] 王静爱,史培军,朱骊,等.中国沿海自然灾害及减灾对策.北京师范大学学报:自然科学版,1995,31(3): 104-109.
- [6] 梁必骐,梁经萍,温之平.中国台风灾害及其影响的研究.自然灾害学报,1995,4(1): 84-91.
- [7] 欧进萍,段忠东,常亮.中国东南沿海重点城市台风危险性分析.自然灾害学报,2002,11(4): 9-17.
- [8] 陈香.2005年福建省台风灾害时空格局与危险性评价.台湾海峡,2008,27(2): 250-255.
- [9] 孙伟,刘少军,田光辉,等.海南岛台风灾害危险性评价研究.气象研究与应用,2008,29(4): 7-9.
- [10] 娄伟平,陈海燕,郑峰,等.基于主成分神经网络的台风灾害经济损失评估.地理研究,2009,28(5): 1243-1254.
- [11] 刘少军,张京红,何政伟.可拓方法在台风灾害危险性评估中的应用.云南地理环境研究,2010,22(4): 100-104.
- [12] 曾令峰.广西沿海台风灾害风险评估初探.灾害学,1996,11(1): 43-47.
- [13] 丁燕,史培军.台风灾害的模糊风险评估模型.自然灾害学报,2002,11(1): 34-43.
- [14] 陈香.福建省台风灾害风险评估与区划.生态学杂志,2007,26(6): 961-966.
- [15] 陈香,陈静.福建台风灾害风险分布的初步估计.自然灾害学报,2007,16(3): 18-23.
- [16] 孟菲.上海成灾台风的气象特征及灾害风险评估.上海:上海师范大学硕士学位论文,2008.
- [17] 杨慧娟,李宁,雷随.我国沿海地区近54a台风灾害风险特征分析.气象科学,2007,27(4): 413-418.
- [18] 全国减灾救灾标准化技术委员会.综合灾害风险分类标准.北京:中国标准出版社,2010.
- [19] 刘毅,吴绍洪,徐中春,等.自然灾害风险评估与分级方法论探研——以山西省地震灾害风险为例.地理研究,2011,30(2): 195-208.
- [20] 丁燕.台风灾害的模糊风险评估模型.北京:北京师范大学硕士学位论文,2002.
- [21] 葛全胜,邹铭,郑景云,等.中国自然灾害风险综合评估初步研究.北京:科学出版社,2008.
- [22] 顾明,赵明伟,全涌.结构台风灾害风险评估研究进展.同济大学学报:自然科学版,2009,37(5): 569-574.
- [23] 马清云,李佳英,王秀荣,等.基于模糊综合评价法的登陆台风灾害影响评估模型.气象,2008,34(5): 20-25.
- [24] 孟菲,康建成,李卫江,等.50年来上海市台风灾害分析及预评估.灾害学,2007,22(4): 71-76.
- [25] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.热带气旋等级标准.北京:中国标准出版社,2006.
- [26] 高庆华,等.中国自然灾害风险与区域安全性分析.北京:气象出版社,2005.
- [27] 中国台风网. www.typhoon.gov.cn, 2011-05-26.
- [28] 史培军.再论灾害系统研究的理论与实践.自然灾害学报,1996,5(4): 6-17.
- [29] 刘燕华,李钜章,赵跃龙.中国近期自然灾害程度的区域特征.地理研究,1995,14(3): 14-25.

- [30] 刘少军. 基于多信息源的台风灾害实时评估系统研究. 成都: 成都理工大学博士学位论文, 2011.
- [31] 周俊华. 中国台风灾害综合风险评估研究. 北京: 北京师范大学博士学位论文, 2004.
- [32] 司春林, 王安宇, 袁庆丰. 中国IS-LM模型及其政策含义. 管理科学学报, 2002, 5(1): 46-54.
- [33] 徐中春. 中国地震灾害风险综合评估. 北京: 中国科学院研究生院博士学位论文, 2011.
- [34] 李开忠. 中国洪水灾害损失风险评估. 北京: 中国科学院研究生院博士学位论文, 2011.
- [35] Dorland C, Tol R S J, Palutikof J P. Vulnerability of the Netherlands and Northwest Europe to storm damage under climate change. *Climate Change*, 1999, 43: 513-535.
- [36] 陈文芳, 徐伟, 史培军. 长三角地区台风灾害风险评估. 自然灾害学报, 2011, 20(4): 77-83.
- [37] Huang Z G, Rosowsky D V, Sparks P R. Long term hurricane risk assessment and expected damage to residential structures. *Reliability Engineering & System Safety*, 2001, 74(3): 239-249.

A study on the relationship between typhoon intensity grade and disaster loss in China

YIN Jie^{1,2}, DAI Erfu¹, WU Shaohong¹, PAN Tao¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing 100125, China)

Abstract: Typhoon disasters cause great losses in coastal regions of China, and typhoon disaster risk assessment can provide scientific basis for disaster loss prevention. It is a basic work to assess its risk quantitatively in discussion on the relationship between typhoon intensity grade and disaster loss. In this paper, 174 typhoon paths data and disaster situation data from 1954 to 2008, and intensity grade information for each typhoon event from track dataset are used to analyze the relationship between typhoon intensity grade and 8 loss indices. The typhoon intensity grade is characterized by average wind speed. The loss indices include crop afflicted area, crop failure area, afflicted population, mortality, injured, settlement population, collapsed buildings, and direct economic loss, which belong to four kinds of hazard resilient society (crops, population, house and economy). Based on typhoon wind theory, the affected range of each typhoon is extracted by doing buffer in spatial analysis module on ArcGIS9.3. According to the ranges, the 8 indices for loss rates could be calculated. The relationship between typhoon intensity grade and disaster loss rates are fitted by statistical method, and the loss rate curves are obtained subsequently. The loss rate curves are showed in exponential forms. Based on the typhoon intensity grade division standard and loss rate curves, the scheme of typhoon disaster loss criteria is established, which could be divided into four grades: slight, light, medium and severe. In the criteria, each grade could be characterized by 8 loss indices. The results indicate that loss rates are exponentially increasing with typhoon intensity grade, namely, the higher the intensity grade, the larger the amount of losses. When the intensity grade is 4, the loss rates are increasing sharply. Crops are the most affected in four kinds of hazard resilient society when typhoons landing, and in the severe case, 63.25% of crops area suffers from typhoon disaster. However, mortality rate, injury rate, collapsed buildings rate and direct economic loss rate are relatively low, which indicate that China has the capacity of calamity reduction to avoid large losses. The typhoon disaster loss rate criteria established in this paper could be suitable in China and useful in quantitative vulnerability and risk assessment in further studies.

Key words: typhoon; intensity grade; disaster losses; loss criteria