

## A Discrete Model of the Expected Loss for Catastrophe Insurance in Natural Disasters

Chongfu Huang<sup>1,2</sup> Xing Shi<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resources Ecology (Beijing Normal University)  
Beijing 100875, China, hchongfu@bnu.edu.cn

<sup>2</sup>Bank of China Insurance, Beijing 100818, China

<sup>3</sup>Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education  
the Peoples' Republic of China, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

### Abstract

The traditional actuarial model of catastrophe insurance is too theoretical. In many cases, it is of no avail. In this paper, we suggest a discrete model of catastrophe insurance to calculate the expected losses. We successfully applied to calculate the premium rate of the typhoon in Fujian Province, China. In this model, we use the conditional probability distribution of catastrophic events given a lower-catastrophe and the probability distribution of the catastrophe times to express randomness of catastrophe, use the matrix showing the damage ratio of a single insured object and the matrix showing the insurance loss to express the relationship between catastrophe and economic loss, and use the discrete probability distribution and catastrophe losses and above the relationship to calculate the expected loss. When we use the model to calculate the premium rate, we consider adjustment factors and insurance amount, and partly apply the general actuarial model. Research shows that the model versatility, easy operation, the results more reliable.

**Keywords:** Typhoon, insurance, actuarial, Fujian, house.

## 自然灾害巨灾保险中估计期望损失的一个离散化模型

黄崇福<sup>1,3</sup> 石兴<sup>2,3</sup>

1. 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

2. 中银保险有限公司, 北京 100818

3. 北京师范大学, 民政部/教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875

**摘要:** 传统的巨灾保险费率精算模型过于理论化, 许多时候无法使用。本文建议了一个计算期望损失的巨灾保险离散化模型, 并成功应用于中国福建省的台风保险费率。在该模型中, 我们用大于等于某级巨灾的巨灾条件概率分布和它们出现次数的概率分布来表达巨灾的随机性, 以巨灾中单体标的破坏比矩阵和破坏程度与保险损失矩阵来表达巨灾与经济损失的关系, 并用离散概率分布和巨灾与经济损失的离散关系来计算期望损失。在用该模型计算费率, 我们考虑了费率调整因子和保险金额, 并部分用到了通用精算模型等。研究表明, 该模型通用性强, 易操作, 结果较为可靠。

**关键词:** 台风, 保险, 精算, 福建, 住宅

### 1. 引言

自然灾害巨灾保险是以某一保险条款为基础, 以触发约定标准的巨灾风险为主要保险责任, 在约定的自然灾害巨灾保险区划范围内, 对特定的保险标的, 依据法规, 建立巨灾风险共保体, 并对巨灾保险所做出的制度性安排。

巨灾的内涵是指某一次灾害发生后, 发生地已无力控制灾害所造成的破坏, 必须借助外部力量进

行处置。例如, 风速达到每秒 20.8—24.4 米的 9 级以上的台风, 会形成巨灾。

巨灾风险, 必须进行共保。亦即是在确定的巨灾保险区划内, 所有利益攸关方组成命运共同体。通常的做法是, 政府财政发起出资组建共保体, 成为最后的财务风险承担者。国内所有保险人, 乃至再保险人出资参加共保体, 并组成管理层受托经营管理。被保险人参与分担风险, 比例自保一部分。这种由政府、保险人和被保险人组成的新型共保

体，使再大的巨灾风险也得以最为广泛地分担，有助于实现巨灾风险的可保性。

巨灾保险能否实施，依赖于巨灾保险费率精算模型是否有效。

## 2. 传统巨灾保险期望损失模型

传统的巨灾保险费率精算由3部分组成：巨灾事件分析、经济损失估计和计算保险人损失期望值。

### 2.1 巨灾事件分析

某一地区内，一定时间内发生某种巨灾事件主要取决于自然灾害规律的作用和周边地区自然环境，其一次损失程度的大小主要取决于自然灾害类型及其风险强度和发生该自然灾害事件所在地区的建筑物分布和社会经济状况。在一定时间内，一个地域内的自然环境及其建筑物分布具有一定的稳定性，因此，我们可用一个地区的位置来代表它们，设为  $L$ 。在保险实践中，有的用邮编来表示地区的划分，有的用经纬度来划分地区。

地点  $L$  发生某一程度的巨灾事件具有一定的随机性，为了研究巨灾事件对该地点造成的社会损失，选取与该巨灾事件导致的经济损失程度具有良好相关性的物理特性的组合，即描述巨灾事件强度的变量的组合，记作  $X_L$ ，它是一个随机变量族，设其取值空间为  $\Omega_L$ 。如果把一次巨灾风险所带来的衍生灾害也算在同一性的话，我们可以近似假设每次灾害的  $X_L$  是独立同分布的。根据自然灾害发生的机制，结合地点  $L$  及周围的自然环境特性，参考历史数据和经验，我们可以设定  $X_L$  的概率密度函数为  $p_L(x)$ ， $x$  是  $\Omega_L$  中的元素。

同样，地点  $L$  在时间  $t$ （以年为单位）内发生该巨灾事件的次数为随机过程，通常假设为由式（1）所示的泊松过程  $N_L(t)$ 。它描述了对任意固定的时间段  $t$ ，在这一时间段内随机事件发生  $k$  次的概率。参数  $\lambda_L$  为泊松过程的强度。在  $t$  时间段的期望值由式

（2）计算。特别地，在时间段为一年的情况下，由式（3）知，在地点  $L$  所面临某一巨灾风险可能发生的期望次数正好为  $\lambda_L$ 。

$$P(N_L(t) = k) = \frac{(\lambda_L t)^k}{k!} e^{-\lambda_L t}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

$$E(N_L(t)) = \lambda_L \times t \quad (2)$$

$$E(N_L(1)) = \lambda_L \quad (3)$$

### 2.2 经济损失估计

巨灾事件发生时，影响经济损失程度大小的因素虽然较多，归纳起来有四大类：该巨灾事件的物理性质，主要是其强度信息；风险暴露单位数量价值及其分布；建筑物的抗灾能力，即建筑物抗灾级别和结构特性；以及社会减灾能力。显然前两者与经济损失是正向关系，后两者与经济损失呈反向关系。

根据历史数据和经验，我们可以采用模型来预测某一灾害发生时的损失。对于地点  $L$ ，我们假设单次巨灾事件所造成的经济损失为：

$$y_L = G(X_L, S_L, M_L, D_L) \quad (4)$$

其中， $S_L$ 、 $M_L$ 、 $D_L$  分别表示地点  $L$  的抗灾能力、经济价值分布和社会减灾能力信息。

### 2.3 计算保险人损失期望值

当地点  $L$  的经济损失确定了后，保险人的损失主要受以下因素的影响：保险责任范围、保险金额的共保比例、免赔额等保险条件。为了简单起见，我们用  $I_L$  来表示地点  $L$  的保险相关情况。

设  $z_L$  表示地点  $L$  发生一次巨灾事件所造成保险人的损失，根据  $y_L$  和  $I_L$ ，通常作如下假设：

$$z_L = H(y_L, I_L) = H(G(x, S_L, M_L, D_L), I_L) \quad (5)$$

则地点  $L$  面临单次巨灾事件时，保险人的期望损失为：

$$E(z_L) = \int_{\Omega_L} H(G(x, S_L, M_L, D_L), I_L) \times p_L(x) dx \quad (6)$$

设  $v_L(t)$  表示地点  $L$  在时间  $t$  内由单一巨灾事件所造成保险人的总损失，则

$$v_L(t) = \sum_{k=1}^{N_L(t)} z_L \quad (7)$$

这里的  $k$  是指巨灾事件发生的次数。

同理，地点  $L$  在时间  $t$  内由单一巨灾事件造成保险人的总期望损失为：

$$\begin{aligned} E(v_L(t)) &= E(N_L(t)) \times E(z_L) \\ &= \lambda_L \times t \times \int_{\Omega_L} H(G(x, S_L, M_L, D_L), I_L) \times p_L(x) dx \quad (8) \end{aligned}$$

由此可得地点  $L$  在一年内由该巨灾事件造成保险人的总期望损失  $E$  为<sup>[1]</sup>：

$$E = \lambda_L \times \int_{\Omega_L} H(G(x, S_L, M_L, D_L), I_L) \times p_L(x) dx \quad (9)$$

显然，式（9）是一个理论模型，函数表达式 $G$ 和 $H$ 均不易确定。

### 3. 离散化的巨灾保险期望损失模型

由于传统模型中一系列函数的表达式不易确定，用少量巨灾样本估计出的有关参数其可靠性也不高。所以，在许多情况下，传统模型的理论意义大于实际意义。本文根据巨灾风险的特点，提出离散化的巨灾保险期望损失模型，使理论模型过渡到实用模型。

离散模型涉及两个主要的定义域，一个是巨灾等级的定义域；另一个是财产破坏程度的定义域。

例如，大于9级的台风，其风力等级查表1可知。而住宅破坏程度的定义域，可由表2给出。台风的定义域记为 $W$ （用“Wind”的第一个字母），破坏定义域记为 $D$ （用“Damage”的第一个字母）。它们可分别用式（10）和（11）表之。

$$W = \{w_1, w_2, w_3, w_4, w_5\}$$

$$= \{9 \text{ 级风}, 10 \text{ 级风}, 11 \text{ 级风}, 12 \text{ 级风}, 13-17 \text{ 级风}\} \quad (10)$$

$$D = \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5\}$$

$$= \{\text{基本完好}, \text{轻微破坏}, \text{中等破坏}, \text{严重破坏}, \text{完全破坏}\} \quad (11)$$

表1. 风力等级表

风力级数	名称	陆地地面征象	风速	
			(米/秒)	(公里/小时)
0	静稳	静，烟直上	0-0.2	<1
1	软风	烟能表示风向，但风向标不能动	0.3-1.5	1-5
2	轻风	人面感觉有风，树叶微响，风向标能转动	1.6-3.3	6-11
3	微风	树叶及微枝摇动不息，旌旗展开	3.4-5.4	12-19
4	和风	能吹起地面灰尘和纸张，树的小枝摇动	5.5-7.9	20-28
5	清劲风	有叶的小树摇摆，内陆的水面有小波	8.0-10.7	29-38
6	强风	大树枝摇动，电线呼呼有声，举伞困难	10.8-13.8	39-49
7	疾风	全树摇动，迎风步行感觉不便	13.9-17.1	50-61
8	大风	微枝折毁，人行向前感觉阻力甚大	17.2-20.7	62-74
9	烈风	建筑物有小损（烟囱顶部及平屋摇动）	20.8-24.4	75-88
10	狂风	陆上少见，见时可使树木拔起或使建筑物损坏严重	24.5-28.4	89-102
11	暴风	陆上很少见，有则必有广泛损坏	28.5-32.6	103-117
12	飓风	陆上绝少见，摧毁力极大	32.7-36.9	118-133
13	-	-	37.0-41.4	134-149
14	-	-	41.5-46.1	150-166
15	-	-	46.2-50.9	167-183
16	-	-	51.0-56.0	184-201
17	-	-	56.1-61.2	202-220

资料来源：国家标准GB/T 19201-2006

表 2. 住宅破坏程度表

名称	破坏情况描述
基本完好	建筑物承重和非承重构件完好，或个别非承重构件轻微损坏，不加修理可继续使用。
轻微破坏	个别承重构件出现可见裂缝，非承重构件有明显裂缝，不需要修理或稍加修理即可继续使用。
中等破坏	多数承重构件出现轻微裂缝，部分有明显裂缝，个别非承重构件破坏严重，需要一般修复后可继续使用的。
严重破坏	多数承重构件破坏较严重，或有局部倒塌，需要大修，个别建筑修复困难。
完全破坏	多数承重构件严重破坏，结构濒于崩溃或已倒毁，已无修复可能。

3.1 巨灾事件离散模型

设在某地发生一次大于等于 $m_1$ 巨灾的条件下，这次巨灾是 $m_i$ 级的概率是一个离散关系，如表3所示，记为 $P_1(m_i)$ 。注意， $P_1(m_i)$ 是一个条件概率分布，而不是某时段内发生 $m_i$ 级巨灾的概率分布。

表3. 发生 $m_i$ 级巨灾的概率分布 $P_1(m_i)$

$m_i$ 级巨灾	$m_1$	$m_2$	...	$m_i$	...	$m_n$
概率 $P_1(m_i)$	$p_1$	$p_2$	...	$p_i$	...	$p_n$

再设某时段 $T$ 内出现 $m_1$ 级以上巨灾的次数为 $k$ 的概率分布是一个离散关系，如表4所示，记为 $P_2(k)$ 。

表4. 时段 $T$ 内 $m_1$ 级以上巨灾发生 $k$ 次的概率分布 $P_2(k)$

时段 $T$ 内次数 $k$	0	1	2	...	$k$	...	N
发生概率 $P_2(k)$	$f_0$	$f_1$	$f_2$	...	$f_k$	...	$f_N$

3.2 经济损失离散模型

经济损失与不同巨灾下保险区划内单体标的破坏比例有关。设 $m_i$ 级巨灾发生时，破坏程度为 $d_j$ 的单体标的在保险区划内所占比例为 $A_{ij}$ 。该离散关系可以由表5示之。

由于该表不能直接反映单体标的因巨灾所蒙受的经济损失状况。为此需要建立在不同破坏程度下，经济损失程度比矩阵，它反映的是破坏程度为 $d_j$ 时，从统计意义上来说，单体标的经济损失的情况。自然，破坏程度越严重，经济损失所占该单体标的原有价值比例就越大。我们将此程度比记为 $B_j$ 。该离散关系可以由表6示之。

表6反映的是破坏程度与经济损失程度的自然关系。由于一次巨灾事件保险损失肯定小于或等于经济损失，况且，保险赔偿金额需要考虑保险责任、

赔偿责任限制、免赔额等诸多因素，所以，保险精算使用的，是在表6基础上结合保险实践给出的，我们用表7表示单体标的保险损失程度。

表5. 巨灾中单体标的破坏比矩阵（%）

巨灾 \ 破坏	$d_1$	$d_2$	...	$d_j$	...	$d_t$
$m_1$	$A_{11}$	$A_{12}$	...	$A_{1j}$	...	$A_{1q}$
$m_2$	$A_{21}$	$A_{22}$	...	$A_{2j}$	...	$A_{2q}$
...	...	...	...	...	...	..
$m_i$	$A_{i1}$	$A_{i2}$	...	$A_{ij}$	...	$A_{iq}$
...	...	...	...	...	...	..
$m_n$	$A_{n1}$	$A_{n2}$	...	$A_{nj}$	...	$A_{nq}$

表6. 保险区划内巨灾经济损失程度矩阵表（%）

破坏程度	$d_1$	$d_2$	...	$d_j$	...	$d_q$
经济损失	$B_1$	$B_2$	..	$B_j$	...	$B_q$

表7. 保险区划内单体标的保险损失程度矩阵表(%)

破坏程度	$d_1$	$d_2$	...	$d_j$	...	$d_q$	破坏程度
保险损失	$C_1$	$C_2$	..	$C_j$	...	$C_q$	保险损失

3.3 计算期望损失值的离散模型

假定发生了 $m_i$ 级巨灾，则依表5知，破坏程度为 $d_j$ 的单体标的在所有单体标中将占 $A_{ij}$ 的比例。而由表7知，这种破坏程度的住宅，会产生量值为 $C_j$ 的保险损失比例。于是， $m_i$ 级巨灾产生 $d_j$ 破坏程度的保险损失程度比为 $D_{ij} = A_{ij} \times C_j$ ， $m_i$ 级巨灾对所有单体标

的可能造成的保险损失程度比 $D_i$ 由式(12)计算, 这些数值可构成表8所示的保险区划内单体标的巨灾台风保险损失程度比矩阵。

$$D_i = D_{i1} + D_{i2} + \dots + D_{ij} + \dots + D_{iq}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

表8. 保险区划内单体标的巨灾保险损失程度比矩阵(%)

破 坏 巨灾		$d_1$	$d_2$	...	$d_j$	...	$d_q$	合计
	$m_1$	$D_{11}$	$D_{12}$	...	$D_{1j}$	...	$D_{1q}$	$D_1$
	$m_2$	$D_{21}$	$D_{22}$	...	$D_{2j}$	...	$D_{2q}$	$D_2$
	...	...	...	...	...	...	...	...
	$m_i$	$D_{i1}$	$D_{i2}$	...	$D_{ij}$	...	$D_{iq}$	$D_i$
	...	...	...	...	...	...	...	...
	$m_n$	$D_{n1}$	$D_{n2}$	...	$D_{nj}$	...	$D_{nq}$	$D_n$

当 $m_i$ 级巨灾发生时, 假定其在保险区划内的影响范围所占区划面积的比为 $S_i$ , 则产生的保险损失程度之比 $H_i$ 由式(13)计算。

$$H_i = D_i \times S_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

为简单起见, 我们用表3给出的概率分布, 依式(14)计算出时段 $T$ 内 $m_1$ 级以上巨灾发生的期望次数 $\bar{k}$ 作为各级巨灾的 $T$ 内发生次数使用, 即,

$$\bar{k} = \sum_{k=1}^N (k-1)f_k = f_2 + 2f_3 + 3f_4 + \dots + (N-1)f_N \quad (14)$$

按简单的累加原则,  $m_i$ 级巨灾在年内给保险区造成的保险损失程度之比可由式(15)计算。

$$H_i^{(\bar{k})} = D_i \times S_i \times \bar{k}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

考虑 $m_i$ 级巨灾发生的概率, 依表2, 其 $T$ 内 $m_i$ 级巨灾造成的保险损失率 $M_i$ 可由式(16)计算。

$$M_i = p_i H_i^{(\bar{k})} \quad (16)$$

于是, 根据随机变量期望值的定义,  $T$ 时段内巨灾标的的保险期望损失率 $M$ 可由式(17)进行计算。

$$M = \sum_{i=1}^n p_i H_i^{(\bar{k})} \quad (17)$$

综合上面的相关计算结果, 我们可以得出保险期望损失率测算表, 如表9所示。

表9 保险区划内 $m_1$ 级以上巨灾 $T$ 时段内保险标的的期望损失率测算表(%)

序号	巨灾等级	$m_1$	$m_2$	...	$m_n$	合计
1	发生概率	$p_1$	$p_2$	...	$p_n$	1
2	损失程度比	$D_1$	$D_2$	...	$D_n$	100%
3	影响区域	$S_1$	$S_2$	...	$S_n$	
4	期望次数	$\bar{k}$	$\bar{k}$	...	$\bar{k}$	
5	期望损失率	$M_1$	$M_2$	...	$M_n$	$M$

由表3-表8和式(12)-(17)给出的模型就称为巨灾保险期望损失离散模型(简称“期望损失离散模型”), 表9中的最后一行数据, 就是这一该模型计算出的结果。依此进行的巨灾保险费率的厘定, 则需根据保险业自身的许多实际情况进行考虑, 我们将在下面的案例分析中加以讨论。

#### 4. 期望损失离散模型在精算中的应用

本文将期望损失离散模型用于福建住宅台风保险的精算, 给出保险区划梯度费率表。

##### 4.1 研究区概述

福建省位于中国东南沿海, 全省土地面积为12.14万平方千米, 约占全国土地总面积的1.3%。境内峰岭耸峙, 丘陵连绵, 河谷、盆地穿插其间, 山地、丘陵占全省总面积的80%以上。

全省陆地海岸线总长3000多公里。由于靠近世界上最大的台风源地, 福建省是中国台风灾害最严重的省份之一。相关资料表明, 近30年来, 平均每年有1.5个台风登陆福建, 4个台风影响福建, 每年造成近百人死亡和亿元的直接经济损失, 台风灾害是福建所有自然灾害中危害最大、损失最严重的, 已经严重影响福建省经济可持续发展, 当地民众对台风保险有较高的需求。

##### 4.2 福建住宅台风保险期望损失计算

2009年6月, 本文第二作者对福建省民政厅进行了调研, 并收集了2007和2008年两年台风住宅损失的相关数据资料。为简化相关的计算, 我们作如下相关假设:

(一) 住宅标的的抗灾能力主要体现在其建筑物的结构性能方面, 针对台风巨灾, 以抗灾能力的强

度排列依次分为钢结构、钢混、砖混、砖木和木结构。台风主要发生在我国东南沿海地区，城乡差异相对较小。在福建省，地级城市市区住宅主要是砖混结构和钢混结构，城镇和农村地区 95% 以上住宅是砖混结构，两种结构有类似之处，为简化说明应用方法，故以砖混结构代替所有住宅（福建省民政厅所提供的资料也没有细分住宅结构），以下将单体砖混结构住宅简称单体住宅；

（二）基于福建省绝大部分住宅在地级市和农村地区，经验估计每套住房的平均价 30 万元；

（三）假设被保险人分担巨灾风险的比例为 20%，即保险人承担每套单体住宅 80% 的经济损失。每栋住宅都是足额办理承保手续的。

在财产保险精算中，易损度是一个重要的概念。针对巨灾风险，我们给易损度的定义如下：在确定巨灾保险区划不同地域内，以确定的时间段（通常最近三年），对某一巨灾风险每次事件所造

成某类保险标的的损失金额进行年度累计，然后与该地域内的保险标的价值累计相比，所得的比值就是巨灾保险区划内不同地域同类保险标的的年度风险易损度。

按照易损度大小来划分风险的强度就是风险梯度。在巨灾保险区划内不同地区的同类保险标的的易损度所代表的风险强度构成了巨灾保险区划。

以住宅为保险对象，以福建省各地级市为风险梯度区域，根据所收集的 2007、2008 二年的台风住宅损失相关数据资料，平均计算各地级市的台风住宅易损度，由大到小排列如下：南平：0.007024，三明：0.004702，宁德：0.002323，龙岩：0.000770，泉州：0.000413，莆田：0.000285，福州：0.000262，漳州：0.000149，厦门：0.000056。据此，我们得到的福建住宅台风巨灾易损度区划，见图 1。

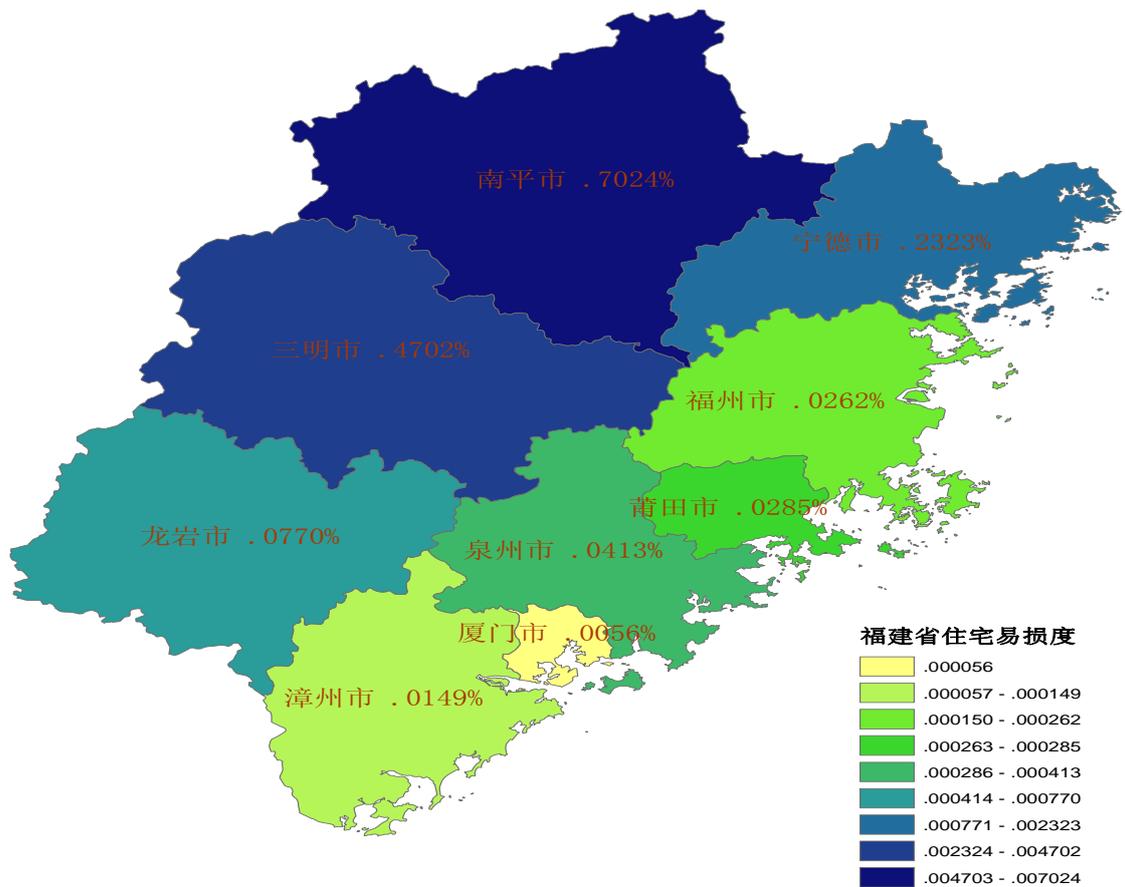


图 1 中国福建省住宅台风巨灾保险区划图

根据 2001-2007 年的《热带气旋年鉴》，在福建住宅台风巨灾保险区划内，我们计算出，大于等于 9 级的台风中，台风为  $w_i$  级的频率分布为表 10，而 9 级以上台风出现不同次数的频率分布为表 11。

表 10. 福建省 9 级以上台风不同等级发生频率的分布情况

台风强度 $w_i$	9	10	11	12	12 级以上
发生频率	0.3	0.35	0.25	0.09	0.01

根据 2001-2007 年的《热带气旋年鉴》，在福建住宅台风巨灾保险区划内，我们计算出，大于等于 9 级的台风中，台风为  $w_i$  级的频率分布为表 10，而 9 级以上台风出现不同次数的频率分布为表 11。

表 11. 福建省一年内出现 9 级以上台风次数  $k$  的频率分布情况

$k$	0	1	2	3	4	5	6	$\geq 7$
频率	0	0.07	0.35	0.39	0.12	0.06	0.01	0

我们分别用表 10 和表 11 中的数值作为表 3 和表 4 中相应的概率估计值来使用。于是，用式 (14) 可计算出年内 9 级以上台风发生的期望次数  $\bar{k}$ ，

$$\begin{aligned} \bar{k} &= \sum_{k=1}^8 (k-1)f_k \\ &= 0.07 + 2 \times 0.35 + 3 \times 0.39 + 4 \times 0.12 \\ &\quad + 5 \times 0.06 + 6 \times 0.01 = 2.78 \end{aligned}$$

根据调研材料，我们整理出福建省台风巨灾保险区划内单体住宅巨灾台风破坏比矩阵表（表 12），以及福建省保险区划内巨灾台风经济损失程度矩阵表（表 13），它们是期望损失离散模型中的

表 5 和表 6 的具体体现。表 12 反映了巨灾风险的不同级别、损失破坏程度及其分布概率等因素，某种程度上也反映了单体住宅在不同的台风强度下的抗灾能力。表 13 中的经济损失程度是指单体住宅遭受巨灾风险后，在不同破坏程度下，可能的经济损失占其整体价值之平均比例。例如，由该表知，在轻微破坏情况下，一个单体住宅将遭受的经济损失程度为 25%。

保险赔偿金额需要考虑保险责任、赔偿限制、免赔额等诸多因素，涉及较多的主观判断，很难在保险损失与经济损失之间建立一个非常精准的函数关系。然而，根据经验数据，我们假设自保比例为 20% 以上为，从而可以统计一个平均线性比例关系，如果采用比例免赔额，则存在一个比例关系。为简化起见，采用比例系数为  $r=20\%$ ，则可将表 13 转化成表 14 的单体住宅的保险损失程度矩阵表，它是期望损失离散模型中表 7 的具体体现。例如，轻微破坏的保险损失程度是  $C_2 = B_2 \times r = 25\% \times 80\% = 20\%$ 。

将表 12 的各项数据按行乘以表 14 的各项数据，即可得到单体住宅一次 9 级以上台风对住宅的保险期望损失程度比矩阵，如表 15 所示，它是期望损失离散模型中表 8 的在实例中的具体数值。

例如，9 级台风时，轻微破坏的住宅，会给保险公司因这些住宅投保带来标的保险金额的损失比为  $D_{12} = A_{12} \times C_2 = 0.12\% \times 20\% = 0.0240\%$ 。

根据台风的结构、能量和热带气旋风场的‘三圈’结构，每个台风基本呈椭圆形形状。一般说来，从台风中心（风眼）至云墙（眼壁）的半径有 60 公里至 100 公里不等，假设取中间值为 80 公

表 12. 福建省台风巨灾保险区划内单体住宅巨灾台风破坏比矩阵（%）

破坏 台风	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	完全破坏	合计
9 级	99.8%	0.12%	0.08%	0%	0%	100%
10 级	99.617%	0.342%	0.0355%	0.0053%	0%	100%
11 级	99.5331%	0.3964%	0.0468%	0.0218%	0.0019%	100%
12 级	99.3975%	0.5277%	0.0559%	0.0134%	0.0055%	100%
12 级以上	97.1069%	1.8442%	0.8475%	0.1522%	0.0492%	100%

表 13. 福建省保险区划内巨灾台风经济损失程度矩阵表 (%)

破坏程度	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	完全破坏
经济损失程度	0%	25%	55%	85%	95%

表 14. 福建省保险区划内单体住宅巨灾台风保险损失程度矩阵表 (%)

破坏程度	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	完全破坏
保险损失程度	0%	20%	44%	68%	76%

表 15. 福建保险区划内单体住宅巨灾台风保险损失程度比矩阵 (%)

损坏 台风	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	完全破坏	合计
9 级	0%	0.0240%	0.0352%	0%	0%	0.0592%
10 级	0%	0.0684%	0.0156%	0.0036%	0%	0.0876%
11 级	0%	0.0793%	0.0206%	0.0148%	0.0014%	0.1161%
12 级	0%	0.1055%	0.0246%	0.0091%	0.0042%	0.1434%
12 级以上	0%	0.3688%	0.3729%	0.1053%	0.0374%	0.8826%

里。虽然台风影响的范围方圆直径约为 1000 公里左右，但根据历史数据，在这个椭圆形半径为 80 公里的环带内，暴风和暴雨强度最大，对地面财产和人员造成大面积、大范围、大量保险标的重大损失和伤亡可能性最高，对其他地方的影响是较小的。假设台风在福建中部登陆，由东南向西北移动，横穿整个福建省，且以台风中心所作的四个象限内都遭遇大风暴雨，那么我们可以将其近似看作一个宽 160 公里，长 480 公里（福建东西最大间距约 480 公里）的长方形。则一次 9 级以上台风，在上述移动路径下，对福建最为完整的、且最大范围的破坏性台风灾害所致的遭灾面积为 7.68 万平方公里，约占福建省陆地面积 12.4 万平方公里的 61.93%（由于考虑的是巨灾台风对住宅的影响，故只考虑陆地面积）。

巨灾保险区划一般较大，不同的巨灾风险、触发的强度、发生位置、次生灾害、影响时间等因素，对整个巨灾保险区划内的保险标的影响范围和程度差异是较大的。就福建住宅台风巨灾保险区划来说，一个巨灾台风也不可能对福建整个保险区划都有破坏性影响，其影响范围和程度主要看生成时间（是否与大潮流、月盈月亏）、登陆地点、台风

强度、发展过程、行进路线、移动速度、影响时间等因素来决定。如 2008 年的海鸥台风虽然达到 10 级，且在福建霞浦县长春镇登陆，但仅仅掠过福建的北部（非常临近浙江的南部地区），随后就移向东海，影响路径和事件十分短暂，所以该台风对福建的影响的范围很微小。

基于以上分析，我们只能凭经验假设一次 9 级以上台风对福建住宅台风巨灾保险区划的平均影响范围取中间值为 30%，即，表 9 中的  $S_i$  均取值为 30%。

使用式 (13) - (15) 和表 10，表 15 提供的数据，以及上面给出的  $\bar{k}$  值和平均影响范围取中间值  $S_i$ ，我可以得到表 16 所示的保险期望损失率测算表。

例如，9 级台风时期望损失率计算出下：

$$\begin{aligned}
 M_1 &= p_1 H_1^{(\bar{k})} \\
 &= p_1 \times D_1 \times S_1 \times \bar{k} \\
 &= 0.3 \times 0.0592\% \times 30\% \times 2.78 \\
 &= 0.0148\%
 \end{aligned}$$

#### 4.3 费率计算公式

表 16. 福建省住宅台风巨灾保险区划内 9 级以上台风年度保险期望损失率测算表 (%)

序号	台风等级	9	10	11	12	12 级以上	合计
(1)	发生概率	0.3	0.35	0.25	0.09	0.01	1
(2)	损失程度比	0.0592%	0.0876%	0.1161%	0.1434%	0.8826%	100%
(3)	影响区域	30%	30%	30%	30%	30%	
(4)	期望次数	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	
(5)	期望损失率	0.0148%	0.0256%	0.0242%	0.0108%	0.0074%	0.0827%

### I. 保额统计

保额统计有两种方法，一是在巨灾保险区划内对每一住宅一一统计加总，二是按照抽样统计，得出一套住宅平均价，以此计算。显然第二种方法较好。巨灾保险因实施强制保险，所以统计在内所有住宅必须参加保险。我们使用 2007 年和 2008 年福建省统计年鉴，经研究和整理，得福建省住宅保额统计如表 17。

表 17. 福建台风巨灾保险区划内各地区保额统计表

地区	户数 (万户)	单价 (万元)	价值 (亿元)
福州	195	30.00	5,850.00
厦门	47	30.00	1,410.00
宁德	94	30.00	2,820.00
莆田	89	30.00	2,670.00
泉州	177	30.00	5,310.00
漳州	128	30.00	3,840.00
龙岩	82	30.00	2,460.00
三明	75	30.00	2,250.00
南平	87	30.00	2,610.00
合计	974	30.00	29,220.00

### II. 费率调整因子的假定

根据巨灾保险费率组成和巨灾保险费率精算模型，结合巨灾保险的特点和保险公司一般的营运成本经验数据，我们假设运营成本附加因子为 20%；

被保险人因参与风险分担，自保 20%，且设有免赔额，故其防灾防损意识加强，应该设置诱导性费率，我们假设费率折扣因子为 5%；安全性附加因子纯粹是一个主观的经验假设，为 10%。具体费率调整因子假设如表 18 所示。

表 18. 福建住宅台风巨灾保险费率调整因子表

调整因子名称	运营成本附加因子	安全性附加因子	费率折扣因子
调整比值	20.0%	10.0%	5.0%

### III. 保险区划内不同区域的梯度费率系数

在一个巨灾保险区划内的所有地区所遭受侵袭和影响的台风次数应该是均等的，但是不同地区的灾害风险强度是不一的，可以设定一个地级市为一个风险梯度。根据相关资料，为简化说明，这里不妨将风险强度差不多的地级市归并为一个风险梯度地区，合并为 4 个。考虑漳州的实际情况和两年数据资料的局限性，对此作了调整。于是，我们得到福建省的风险梯度划分如表 19，假设福建省台风住宅易损度最低的福州和厦门地区为 1，那么按照易损度的数值，简单算术平均推算出各地的实际梯度费率系数。

表 19. 福建住宅台风巨灾保险区划内风险梯度系数

所属范围 (代码)	梯度系数	保额 (亿元)
福州、厦门 (T1)	1	7,260
泉州、漳州、莆田 (T2)	1.7736	11,820
龙岩、宁德 (T3)	9.7233	5,280
南平、三明 (T4)	36.8742	4,860

#### IV. 费率计算公式

##### (1) 巨灾保险费率的构成

巨灾保险费率由基本费、梯度费率和安全费率构成。

基本费率又称纯风险基准费率。世界上没有统一的标准。美国将百年一遇的洪水作为基准洪水。根据我国社会经济变化转快的特点，以 3-5 年历史数据统计所得的平均易损度为我国巨灾风险的基本费率较为合适。

梯度费率反映的是不同地区所面临某类巨灾风险的平均强度。巨灾保险区划内不同地区所面临的同一巨灾风险的强度是不一的，梯度费率可根据经验数据，诸如灾害风险强度、灾损率或以上平均易损度来确定。

不同地区的实际费率是在基本费率的基础上乘以梯度费率系数而得。

在计算巨灾保险费率时考虑一定的安全系数，涉及的费率称为安全费率，其与保险标的本身的抗灾能力、区域防灾工程规划等密切相关。安全费率的出现，使巨灾保险费率的精算有别于商业保险费率精算。

##### (2) 调整系数

经营成本和相关税收数:由于巨灾保险的公共产品属性，具有一定的公益性，所以商业的逐利性要少考虑<sup>[2]</sup>。巨灾保险主要经营成本是代办费用、管理费用、公估费用等，或者一定的微利。日本地震保险费率也不考虑承保人盈利，这反映了地震保险的公益本质。

折扣系数:保险人对以下四种情况给予被保险人一定的折扣系数，一是为了鼓励防灾防损，保险人设计具有诱导性的防灾防损差别费率。二是如果有新的防灾防损设施投入使用，在新的保险年度厘定费率时就要对折扣系数加以调整。三是国家关于建筑规范、抗灾级别的提高而设置的折扣系数。有的国家还设有建筑年限折扣系数等。总折扣系数一般在 10% 以内浮动。

##### (3) 费率调整因子

根据前述巨灾保险费率的构成和调整系数易知，建立巨灾保险费率精算模型需要设立如下调整因子：

**运营成本附加因子：**设第  $i$  种巨灾保险保险人的运营管理成本（包括管理费用、佣金、税费等）比率为  $\theta_{i,1}$ 。

**安全性附加因子：**设第  $i$  种巨灾保险保险人的风险波动安全和自然灾害风险发展趋势增强等因素的附加率为  $\theta_{i,2}$ 。

**折扣因子：**根据前述费率折扣系数所考虑的因素，设第  $i$  种巨灾保险的实际费率折扣系数为  $\theta_{i,3}$ 。

**梯度因子：**设第  $i$  种巨灾保险在整个保险区划内一年的基本费率为  $\alpha_i$ ，设第  $i$  种巨灾保险在地点  $L_{i,j}$  内一年的区域费率为  $\alpha_{i,j}$ ，设第  $i$  种巨灾保险在地点  $L_{i,j}$  的梯度费率系数为  $t_{i,j}$ ，即

$$\alpha_{i,j} = \alpha_i \times t_{i,j} \quad (18)$$

##### (4) 保险金额

在给定的保险区划内，我们根据民政部门、公安局部门、邮政编码、投保单等相关数据资料，可以轻而易举地统计得到在整个保险区划内各个保险标的保险金额的合计，假设为  $B_{i,j}$ 。

##### (5) 计算公式

根据巨灾保险期望损失的一般模型（公式 (9)）考虑上述的调整因子和调整系数，可得第  $i$  种巨灾保险平均费率的一般通用精算模型：

$$\alpha_i = \frac{E_i}{\left(\sum_j B_{i,j} \times t_{i,j}\right) \times (1 + \theta_{i,3}) \times (1 - \theta_{i,1} - \theta_{i,2})} = \frac{\sum_j (\lambda_{i,j} \times \int_{\Omega_{i,j}} H_i(x, S_{i,j}, M_{i,j}, D_{i,j}, I_{i,j}) \times p_{i,j}(x) dx)}{\left(\sum_j B_{i,j} \times t_{i,j}\right) \times (1 + \theta_{i,3}) \times (1 - \theta_{i,1} - \theta_{i,2})} \quad (19)$$

#### 4.4 费率计算演示

在本例中，费率计算公式具体化为：

$$\alpha = \frac{E}{\left(\sum_{1 \leq j \leq m} Q_j \times t_j\right) \times (1 + \theta_3) \times (1 - \theta_1 - \theta_2)} = \frac{\left(\sum_{1 \leq j \leq m} Q_j\right) \times M}{\left(\sum_{1 \leq j \leq m} Q_j \times t_j\right) \times (1 + \theta_3) \times (1 - \theta_1 - \theta_2)} \quad (20)$$

##### (1) 纯风险平均费率计算

根据式 (20)、表 16、18 和 19，可以得到巨灾保险的纯风险平均费率（即风险梯度 T1，参照系数为 1 的地区住宅台风巨灾保险费率），具体计算如下：

分子 =  $E$ （总损失）

$$\begin{aligned}
&= \text{总计保额} \times 9 \text{ 级以上台风年度保险期望损失率} \\
&= (7,260+11,820+5,280+4,860) \times 0.0827\% \\
&= 24.16494 \text{ (亿元)} \\
\text{分母} &= (\sum \text{保额} \times \text{梯度系数}) \times (1+\text{费率折扣因子}) \\
&\quad \times (1-\text{运营成本附加因子}-\text{安全性附加因子}) \\
&= (7,260 \times 1+11,820 \times 1.7736+5,280 \times 9.7233 \\
&\quad +4,860 \times 36.8742) \times (1+5.0\%) \\
&\quad \times (1-20.0\%-10.0\%) \\
&= 190,197.1 \text{ (亿元)}
\end{aligned}$$

综上,得:

$$\text{纯风险平均费率} = 24.16494 \div 190197.1 = 0.0127\%$$

### (2) 梯度纯风险费率计算

根据梯度费率定义,见式(18),我们计算出各风险梯度区域的标准费率,如表20所示。

表 20 福建住宅台风巨灾保险区划梯度纯风险费率测算表

风险梯度	所属范围	实际梯度系数	梯度纯风险费率
1	福州、厦门	1	0.0127%
2	泉州、漳州、莆田	1.7736	0.0225%
3	龙岩、宁德	9.7233	0.1235%
4	南平、三明	36.8742	0.4683%

### (3) 梯度标准费率计算

根据以上测算,南平和三明地区一套价值为30万保额的单体住宅将缴纳1,404.9元保费(300,000×0.4683%),而在福州、厦门地区一套30万住宅的保费为38.1元,一套80万的住宅,缴纳保费为101.6元,如果一套价值为200万元的住宅,缴纳保费为254元,对比说明两者差距是很大的。这就印证了前述风险越高的地区,往往是农村地区,购买力较弱,超出普通老百姓的承受能力,将给巨灾保险方案的实施带来很多不良影响。基于前述的巨灾保险准共产品属性及其在费率精算中的体现,有必要对梯度纯风险费率进行调整,具体方法有二:

第一,基于实际梯度系数,结合上述考虑,我们需要重新主观选定梯度系数,计算调整后的梯度标准费率,这一费率也是对外公布的承保费率。如表21所示。

表20与表21对比,风险梯度1与4的费率差距由原先的36.87倍,缩小至6倍。保费支出得到了有效均衡。

表 21 福建住宅台风巨灾保险区划梯度费率表

风险梯度	所属范围	实际梯度系数	选定梯度系数	梯度标准费率
1	福州、厦门	1	1	0.0446%
2	泉州、漳州、莆田	1.7736	1.5	0.0669%
3	龙岩、宁德	9.7233	3	0.1338%
4	南平、三明	36.8742	6	0.2676%

第二,对龙岩、宁德、南平和三明等农村地区,可根据物价指数,消费水平和人均收入,政府对被强制要求购买住宅台风保险的被保险人,实行财政补贴、所得税退税或营业税减免等措施,以提高消费者的购买能力,从而降低被保险人购买巨灾保险所支付的保费,达到相对于购买群体消费能力能承受的程度。这样被保险人实际支付的保费还会下降。如何优惠,主要由巨灾保险制度决定。

基于上述数据资料和应用方法所计算的福建住宅台风巨灾保险费率,对被保险人来说应该是完全可以接受的,对巨灾保险共同体来说,也能够建立巨灾保险基金,这两方面说明费率测算是切合实际的。

## 5. 结论与讨论

由于中国社会发展很快,相适应的巨灾保险资料并不多,国外大型保险公司和机构开发的巨灾保险模型很难在中国投入使用。从理论上讲,巨灾保险费率精算并不难,但精算的精度不仅在于模型自身的完备性,更在于模型的可用性和相关数据资料是否能够支持这样的模型。显然,一个既能支持精算,又能得数据资料支持的模型成为在中国进行巨灾保险费率精算的首选。本文建议的离散模型,有效使用时间系列不长的相关资料实现了对福建省台风巨灾保险费率的精算。经福建省一些资深保险专家的经验判断,认为给出的结果较为可靠。

### 参考文献

- [1] 石兴, 自然灾害风险可保性理论及其应用研究, 北京师范大学博士学位论文, 2009.  
S. Xing, Insurability Study and its Application on Natural Disasters, PhD thesis, Beijing Normal University, 2009.
- [2] 张兆本, 公共经济学, 北京: 人民出版社, 2005  
Z. B. Zhang, Public Economics, Beijing: The People's Press, 2005