

# 极端天气事件背景下：财产保险的可持续发展研究

朱星睿 刘粟辰 汪丽娜

(华北理工大学 河北省唐山市 063210)

**摘要：**极端天气事件是世界上许多国家和地区日益关注的问题。其对地区造成严重损失，并对保险公司带来了冲击，保险公司应该对保险做一个调整来维持财产保险的可持续性。本文建立保险模型对保险公司和地区的发展提出建议。首先利用麦肯锡逻辑树筛选出六个关键指标，通过熵权-变异系数-TOPSIS法计算自然灾害风险指数，并将其划分为高、中、低三个风险等级，然后依据风险等级设置不同的保险费率。为确定国家的保费，应用广义帕累托分布理论来估计各个国家极端灾害发生的概率，并根据保费定价模型计算得到不同国家的保费。通过与自然灾害造成的人均预期损失进行比较，以此确定是否应该承保保单，结果见表1所示。

**关键词：**保险可持续性；熵权-变异系数-TOPSIS法；保费定价；广义帕累托分布

## 0 引言

随着极端天气事件导致的自然灾害频繁发生，全球经济和社会稳定正面临重大的气候风险挑战。2019年，联合国环境规划署发布《全球环境展望》指出<sup>0</sup>，在世界范围内极端天气灾害频率和强度持续增加。世界因1000多起极端天气事件而遭受了超过1万亿美元损失，极端天气事件正在成为业主和保险公司的危机。在气候变化风险不断攀升之下，保险业正面临严峻挑战。慕尼黑再保险近日发布的2023年自然灾害损失记录报告显示，2023年，全球因自然灾害造成的损失总计约为2500亿美元，并致使约超7.4万人死亡；全球保险损失约为950亿美元，接近近五年平均水平<sup>0</sup>。此后，各国保险公司在可持续发展项目中不断完善保险模式。

在发达国家，保险业已经成为应对气候变化的先锋和领军。现在，气候变化已经是事实，各国保险公司和业主必须要积极应对。财产保险的合理安排，将对保险公司的盈利能力和业主的负担能力产生重大影响。因此，让财产保险参与应对气候变化，评估、调整和完善现有的保险模式已经势在必行。

## 1 研究背景

财产保险是指一种保险形式，用于保护个人或组织的财产免受意外损失的影响。财产保险保费是指被保险人所支付给保险公司的一定金额，用于获得保险保障。保费定价是财产保险领域中非常重要的一个问题，直接影响到保险公司的盈利能力和被保险人的利益。国内外对财产保险保费定价的研究已经取得了一定的进展。在国内，汪妍，孙秋柏<sup>0</sup>研究了传统的非寿险定价模型，在

此基础上，提出了广义线性模型与风险定价相结合的定价方法。项宇<sup>0</sup>认为保险产品保费厘定可以使用资产份额定价法，通过对新险种进行利润测试，先验得到费率，在后期实施中，强化附加费用和风险控制，同时强调了精算师报告制度的重要性。在国外，Wang<sup>0</sup>根据巨灾风险的特点，提出了具有幂变换的截尾分布函数，构建了风险调整模型进行巨灾保险的保费厘定。之后，Denuit, Dhaene & Van Wouwe<sup>0</sup>和Luan<sup>0</sup>，使用预期效用理论对巨灾风险进行分析，得到了均值失真保险定价原则及其优良的精算性质和分保方式，扩展了期望效用理论下对巨灾风险保险的认识。

极端天气是指在特定地点和时间发生的频率较低，且强度或数量显著偏离正常气候模式的天气事件。例如，热浪、寒潮、飓风、洪水、干旱海啸等<sup>0</sup>。本文旨在判断保险公司是否应该在极端天气事件数量不断增加的地区承保保单，明确保险公司应该在什么条件下承保保单，在什么地区选择承担承保风险。

本文利用麦肯锡逻辑树分析选取了影响自然灾害风险水平的2个一级指标：发生频率和社会影响，并将上述2个一级指标延伸得到6个重要的二级指标，并且都为正向指标：重要火山喷发次数(NSVE)、每年发生重大地震(MEPY)、灾害造成的直接经济损失(DEL)、自然灾害造成的死亡人数(DND)、火山爆发死亡人数(VDE)、因自然灾害而流离失所的国内民众(DP)。通过世界银行、Our World in Data等网站选取23个国家相应6个二级指标的数据。我们假设模型中不考虑再保险模式，风险由保险公司承担。

通过建立自然灾害风险评估模型，利用熵权法与变异系数法构造所选指标的综合权重，并结合 TOPSIS 法计算出所选国家的自然灾害风险指数(NDR)。利用 NDR 通过 K-means 聚类划分不同国家自然灾害风险水平，以此设置差别保险费率。

通过广义帕累托分布得到每个等级下极端风险事件发生的平均概率；查阅大量文献，通过费率定义保费计算公式。最后对比计算得到的保费和人均预期损失确定保险公司是否可以在某区域承担保单。

## 2 基于自然灾害风险评估模型的保险费率确定

### 2.1 熵权-变异系数-TOPSIS 法计算各指标权重及 NDR

#### 2.1.1 熵权法确定权重

熵权法计算的权重由指数的信息熵决定，即指数的变化程度。一般来说，一个指标的信息熵越小，指标值的变化程度越大，它所能提供的信息越多，在综合评价中发挥的作用越大，即权重越大<sup>0</sup>。因此，在计算 NDR 时，我们使用熵权法来确定所选 6 个指标的权重。其中 DND、DEL、NSVE、MEPY、DP、VDE 的权重分别为：0.1524、0.1830、0.1236、0.0600、0.2519、0.2291。

#### 2.1.2 变异系数法确定权重

变异系数是一个无量纲量，变异系数法也是一种客观赋权的方法，能够客观的反应指标数据的变化信息，该方法能够比较客观的求出各指标的权重。对于所选的指标中，一部分指标数据差异大，而另一部分指标数据差异小，对问题影响较大的数据是变化较大的数据，相应的指标重要性越高，权重越高<sup>0</sup>。因此，利用变异系数法确定 DND、DEL、NSVE、MEPY、DP、VDE 指标的权重分别为 0.1576、0.1591、0.1425、0.0808、0.2263、0.2337。

#### 2.1.3 确定综合权重

由于用熵权法确定的指标权重存在均衡性的缺陷；在综合评价中，有些指标的重要程度不仅仅取决于其内部的离散程度，还与阈值效应、期望目标水平等因素有关，变异系数法对此类信息可能无法全面考量。为了避免这一问题，我们采用熵权法与变异系数法相结合的方法来获得指标权重。假设熵权法权重偏好为 $\lambda$ ，则构建综合权重公式为：

$$W = \lambda W_j + (1 - \lambda) W_{vj} \quad (1)$$

其中， $W_j$ 表示用熵权法计算出的第 j 个指标的权重，

$W_{vj}$ 表示用变异系数法计算出的第 j 个指标的权重，假设熵权法权重偏好 $\lambda=0.5$ ，得到 DND、DEL、NSVE、MEPY、DP、VDE 指标的权重分别为 0.1550、0.17105、0.13305、0.0704、0.2391、0.2314。

#### 2.1.4 TOPSIS 法确定 NDR

TOPSIS 法是一种通过计算各方案距正理想方案和负理想方案间的距离，根据有限个评价对象与理想化目标的接近程度进行排序的方法，是在现有的对象中进行相对优劣的评价<sup>0</sup>。TOPSIS 法充分利用原始数据，且对数据分布没有严格限制，计算方法简单，适用范围较广，因此，选用 TOPSIS 法进行 NDR 的确定。

通过计算，得到 23 个国家的 NDR，其中，自然灾害风险指数最高的国家为 Indonesia 和 Philippines，分别为 0.4569 和 0.4384。自然灾害风险指数最低的国家为 Tonga 和 Portugal，分别为 0.0084 和 0.0014。Indonesia 和 Philippines 均位于环太平洋火山带和地震活跃区，这个地带由于板块交界活动频繁，历来是地震、海啸、台风和火山爆发等自然灾害的多发区。评估结果与实际相符。

#### 2.2 NDR 不同等级下费率的确定

##### 2.2.1 确定自然灾害风险等级

上文模型已确定不同国家的 NDR，此外，利用肘部法确定所分等级数为 3，再利用 K-means 聚类确定每一等级的国家，轮廓系数为 0.772，聚类效果较好，将 NDR 分为 3 个等级组：高风险组、中风险组、低风险组。例如，Indonesia 的自然风险指数为 0.4569，属于高风险组；Turkey 的自然风险指数为 0.0778，属于低风险组等。

##### 2.2.2 费率的确定

通过查阅大量文献并分析，对于极端天气事件造成的自然灾害采用差别保险费率，确定国家低风险组保险费率为 35%，中风险组保险费率为 45%，高风险组保险费率为 55%。

## 3 保费定价模型

### 3.1 保费计算方法

风险具备广泛性和不确定性，保险公司通过主动服务将风险隐患消除在初始萌芽状态需要投入较高的人力和科技成本，其必须充分考虑收益最大化，才能实现多方共赢的预设盈利模式。

以保费定价为例，保费构成分为纯风险保费、附加保费和预期利润三部分，纯风险保费主要基于精算概率

和保险责任，测算得出所承保的纯粹风险对应的赔付成本；而附加保费包含销售成本、运营成本；其次还有预期利润。



图 1 保费构成

本文继而提出一种保费的计算方法，即

$$R_p = (R_p + O_c + T_p)I_r \quad (2)$$

其中  $R_p$  代表保费， $R_p$  代表纯风险保费， $O_c$  代表运营成本， $T_p$  代表目标利润，根据参考文献可将  $T_p$  设为  $O_c$  的 30%， $I_r$  为保险费率。

$R_p$  是保险精算中的一个概念，是指保险公司为了覆盖预期损失而向投保人收取的那部分保费<sup>9</sup>，结合文献确定  $R_p$  的计算公式为

$$R_p = \frac{E_i}{1 - N_i} = \frac{P_n A_i}{1 - N_i} \quad (3)$$

其中  $E_i$  表示人均预期损失， $N_i$  表示国家利率， $P_n$  表示为自然风险事件发生的概率， $A_i$  表示为每次风险事件的平均损失，其中  $E_i = P_n A_i$ 。

根据参考文献，原保险赔付支出( $O_i$ )和运营成本( $O_c$ )之间存在长期、稳定的均衡关系<sup>9</sup>：

$$O_c = 0.4144O_i + 141726.534 \quad (4)$$

其中  $O_i$  为总赔付金额，即  $O_i = R_p + O_c + T_p$ 。 $T_p$  根据国家的不同有所变化，定义  $T_p = N_i O_i$ ， $T_p$  与国家利率  $N_i$  有关。

然后利用帕累托分布计算各个等级对应的平均极端风险事件发生概率。广义帕累托分布是一种专门用来描述超过某一特定临界值(即阈值)的所有观测值资料集的概率分布。1975 年 Pickands 首次将广义帕累托分布<sup>9</sup>引入到水文气象学，后来 Hosking 对该模式进行了更深入的研究和拓展<sup>9</sup>。其分布函数具体形式表示如下：

$$G_{\xi, \sigma}(x) = 1 - (1 + \xi \frac{x}{\sigma})^{-\frac{1}{\xi}} \quad (4)$$

其中  $\xi$  是形状参数， $\sigma$  是尺度参数。当尺度参数不变，形状参数越大，广义帕累托分布的尾部越厚。

通过上述公式(5)计算各个等级国家极端风险事件平均发生概率从低风险组到高风险组依次为 0.75, 0.64, 0.52。该概率从低风险组到高风险组减少的原因可能是因为高风险组平均发生极大自然灾害次数较低，但造成的损失较大，进而导致高风险组的自然灾害风险指数高。

通过保费定价模型可以计算出各个国家的人均保费，见表 1。

### 3.2 确定承保地区

通过比较人均保费与人均预期损失的大小，判断保险公司是否应该在这些国家承保保单。建议承保、冒险承保、不建议承保的部分国家如下表 1 所示：

表 1 部分国家人均保费、人均损失、承保情况单位：美元

国家	人均保费	人均损失	承保情况
Colombia	11.4184	11.8544	不承担保单
Indonesia	27.5786	28.282	
Vanuatu	345.0842	348.5478	冒险
Tonga	5.7147	5.6887	
Guatemala	4.5253	4.4111	承担保单
Cameroon	24.1771	23.5475	

由表 1 分析可得，当人均保费显著大于人均损失时，意味着保险公司认为该保单具有盈利潜力，建议保险公司承担保单；当人均保费显著小于人均损失时，意味着保险公司认为该保单可能面临较大概率亏损的风险，建议保险公司不承担保单；当人均保费在人均损失数额附近波动时，保险公司可以考虑冒险承保。

## 4 结论和建议

### 4.1 结论

由于保单具有不确定性，因此保险公司应根据人均保费、人均损失及国家状况等进行权衡选择：

(1) 当国家位于高、中风险组中，一种情况是，极端天气造成的自然灾害风险大，同时自然灾害造成的人均损失较人均保费大，保险公司需要支付过多索赔，这时建议保险公司在该地区不承担保单，例如 Colombia；另一种情况是，极端天气造成的自然灾害风险大，但自然

灾害造成的人均损失较人均保费小，可能由于国家在遭遇重大灾害后做了较好的防护措施，这时建议保险公司在该地区承担保单，例如 Guatemala。

(2)当国家位于低风险组中，一方面，极端天气造成的自然灾害风险较小，导致该地因极端天气事件的自然灾害参保人数少，保险公司将因客户太少而倒闭，同时自然灾害造成的人均损失较人均保费大，这时建议保险公司在该地区不承保保单，例如 Vanuatu；另一方面，极端天气造成的自然灾害风险较小，同时自然灾害造成的人均损失较人均保费小，进一步减少了灾害对个人和家庭财务状况的长期负面影响，这时建议保险公司在该地区承保保单，例如 Cameroon；其次，极端天气造成的自然灾害风险较小，损失无法准确评估，保险公司尽可能的获取到相关的信息，这时保险公司在该地区承保保单时需要冒险，例如 Tonga。

#### 4.2 建议

针对不同的保单，保险公司在制定业务策略和风险评估时可以采取以下措施和建议：

##### (1)差异化定价策略

对于高风险国家，保险公司应考虑提高保费以反映更高的风险。如果风险过高，可能需要考虑不提供保险服务。对于中风险国家，保险公司应根据风险和人均损失的具体情况调整保费价格。对于低风险国家，保险公司可以考虑提供更具竞争力的保费，以吸引更多客户。

##### (2)风险管理和缓解

在高风险和中风险地区，保险公司应与当地政府和组织合作，投资于灾害预防和缓解措施，减少潜在的损失。在低风险地区，保险公司应鼓励采取适当的防灾减灾措施，以进一步降低索赔的可能性和金额。

##### (3)信息收集与分析

在所有风险级别的国家，保险公司都应加强数据收集和分析能力，以便更准确地评估风险和定价。特别是在信息不透明的低风险国家，保险公司应寻求获取尽可能多的相关信息，以更好地理解潜在风险。

##### (4)灵活性和适应性

保险公司应保持业务模式的灵活性，以便能够快速适应不断变化的风险环境和市场需求。在面对不确定性时，保险公司应考虑采用指数保险等创新产品，这些产

品可以提供更快速和简化的索赔流程。

#### 参考文献：

[1]The United Nations Environment Programme (UNEP). Global Environment Outlook – GEO 6[R]. Kenya: UNEP,2019.

[2]李勇.论气候变化对我国巨灾保险制度的影响[J].吉林大学,2010.

[3]汪妍,孙秋.基于广义线性模型的分层费率厘定方法.辽宁科技大学学报,2009(04):391-395

[4]项宇.论人寿保险费率的厘定.保险研究论坛,2000(07):19-21

[5]WANG S. Anacturial index of right- tail risk.North American Actuarial Journal 1998,2(02): 88- 101

[6]Denuit M. Dhaene, J. VanWouve.The economies of insurance: a review and some recent developments.Bulletin of the Swiss Association of Actuaries,1999,(01):137-175

[7]Luan C..Insurance premium calculation on the utility theory,ASTIN Bullentin,2001:27-39

[8]彭仲仁,路庆昌.应对气候变化和极端天气事件的适应性规划[J].现代城市研究,2012,27(1):7.

[9]陈光波,李元.基于组合赋权的煤矿透水应急救援能力评价[J].科学技术与工程,2023,23(6):2353-2361.

[10]张小泓.基于变异系数法的灰色关联模型在节水灌溉工程投标方案优选中的应用[J].节水灌溉,2009(8):3.DOI:CNKI:SUN:JSGU.0.2009-08-016.

[11]杨雪,王龙.基于AHP耦合TOPSIS的铁路线路方案优选模型[J].铁道运输与经济,2022,44(4):131-138.

[12]倪宝成.随机利率下的分期缴费联合寿险精算模型研究[D].哈尔滨工程大学[2024-02-04].

[13]丁裕国.极端气候研究方法导论:诊断及模拟与预测[M].北京:气象出版社,2009.

[14]Iii J P.Statistical Inference Using Extreme Order Statistics[J].Ann.Statist,1975,3(1) : 119 - 131.

[15]Hosking J R M , Wallis J R .Parameter and Quantile Estimation for the Generalized Pareto Distribution[J].Technometrics, 1987.