

吴亚玲, 姜 珊, 吴先华, 等. 基于极值理论的广东省台风灾害损失分布及其金融对策研究[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 126 – 131, 220. [WU Yaling, JIANG Shan, WU Xianhua, et al. Analysis of the distribution and financial countermeasures of typhoon disaster losses in Guangdong province based on extreme value theory[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(1): 126 – 131, 220. doi: 10. 3969/j. issn. 1000 – 811X. 2017. 01. 022.]

基于极值理论的广东省台风灾害损失分布 及其金融对策研究^{*}

吴亚玲¹, 姜 珊³, 吴先华^{2,3}, 周 蕾³

(1. 深圳市国家气候观测台, 广东 深圳 518040; 2. 南京信息工程大学 气象灾害预警预报与评估协同创新中心, 江苏 南京 210044; 3. 南京信息工程大学 经济管理学院, 江苏 南京 210044)

摘 要: 广东省是我国台风灾害最严重的地区之一, 随着经济的发展, 巨灾带来的潜在风险显著提升。该文尝试采用基于极值理论的 POT 模型拟合广东省历年台风灾害的经济损失, 分析巨灾损失的厚尾特征, 并设计了一种台风巨灾债券。最后从金融角度提出相应的对策和建议。

关键词: 极值理论; POT 模型; 台风灾害; 损失分布; 金融对策; 广东

中图分类号: X43; F840.64; F832.7; P425.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000 – 811X(2017)01 – 0126 – 07

doi: 10. 3969/j. issn. 1000 – 811X. 2017. 01. 022

近年来, 随着全球气候变暖, 城镇化进程的加快, 我国各地发生气象灾害的频率增加^[1]。如何评估气象灾害的风险, 引起人们的广泛关注^[2]。台风是影响我国的主要气象灾害之一。广东省濒临南海, 极端气候事件频发, 发生灾害的潜在风险不断加大^[3]。2008 年强台风“黑格比”在广东省登陆后, 直接经济损失高达 113.8 亿元; 2010 年强台风“凡亚比”造成广东省 156.9 万人受灾, 100 人死亡, 直接经济损失达 51.5 亿元。台风等气象灾害已成为广东省社会经济发展的制约因素^[4]。在面临巨额的灾害损失时, 如何充分发挥金融市场的功能, 对保险与债券产品等做出科学合理的定价, 真正发挥商业保险在防范巨灾风险中的作用, 值得深入探讨。

目前在金融体系参与气象灾害的风险管理研究方面, 现有文献较少。本文采用极值理论, 通过数据分析和台风巨灾债券设计, 为金融体系参与气象灾害风险管理提供新思路。下面简要介绍极值理论的基本原理和基于极值理论的 POT 模型, 对 1984 – 2013 年广东省台风灾害损失额进行统计分析, 利用 POT 模型对广东省台风灾害的经济损

失进行实证研究, 进而简单设计一种台风巨灾债券, 最后从金融层面提出对策建议。

极值理论属于次序统计学的重要范畴, 主要研究随机样本以及随机过程中极端情况的统计规律。1920 年代, 极值理论由 Fisher 和 Tippet^[5] 首先提出, 他们证明了极值极限分布的三大类型定理, 分别为 Gumbel 分布、Frechet 分布和 Weibull 分布, 为极值理论的研究与发展奠定了基础。1950 年代, 极值理论受到了更广泛的关注与运用。Gumbel^[6] 将极值理论应用于洪水的预测并获得成功, 展示了极值概率模型的统计应用成果, 系统归纳出一元极值理论。随后, 极值理论被运用到水文、气象领域, 逐渐在金融保险领域受到应用。国外学者把极值理论运用到灾害风险研究中, 获得良好的发展。如 Pickands^[7] 首次给出了 POT 模型的极值分布广义帕累托分布(GPD), Embrechts^[8] 和 Nadarajah^[9] 详细介绍了 BMM 模型, Dupuis^[10] 建议基于参数的稳定性来确定阈值, Reiss 等^[11] 专门对极值理论的数学基础做了深入研究。Froot 等^[12] 认为, 在保险公司等金融机构的风险转移和均衡定价过程中, 市场的小缺陷仍会导致大偏差, 巨灾

^{*} 收稿日期: 2016 – 07 – 14 修回日期: 2016 – 08 – 28

基金项目: 国家自然科学基金项目(91546117, 71373131, 71140014, 71410307025); 国家软科学计划项目(2011GXQ4B025); 国家公益性行业专项(GYHY 201506051); 国家社科重大招标项目(16ZDA047); 江苏高校优势学科建设工程和江苏省首届品牌专业资助项目

第一作者简介: 吴亚玲(1980 –), 女, 浙江诸暨人, 工程师, 主要从事气象灾害防御管理工作. E-mail: 50773314@qq.com

通讯作者: 吴先华(1977 –), 男, 湖北荆州人, 教授, 博士, 博士研究生导师, 主要从事气象灾害风险管理、创新管理等研究工作. E-mail: wxhua_77@126.com

再保险的价格明显高于市场均衡价格。Izgi 等^[13]运用极值理论对极端情况下股票收益率、利率、均值回归速度的三维动态进行分析,对赫斯顿随机波动模型的应用进行了改进等等。

在我国,极值理论的研究和应用均较少,仅有的研究如潘家柱等^[14]研究 GP 分布的性质及其在股票收益率中的应用,欧阳资生^[15]利用极值估计度量了金融保险中的极值风险,史道济^[16]全面总结了国内外有关极值理论的概念与方法,许玲燕等^[17]将广义极值分布(GEV)引入 Copula-EVT 模型,对干旱灾害风险的历史经验分布进行优化拟合,认为干旱强度对干旱灾害风险重现期有较大影响等。但目前尚未见到利用极值理论分析台风灾害损失并提出金融对策的研究。因此,本文拟运用该方法评估广东省的台风灾害风险,并提出相应的台风巨灾债券,具有较好的典型意义。

1 基于极值理论的 POT 模型

1.1 极值理论原理

极值理论是次序统计学的重要组成部分,专门针对异常数据进行建模,有效处理了严重背离分布均值的数据,能够准确描述分布尾部的分位数,而且极值分布呈现含解析的函数形式,计算简便,能够通过已知历史数据的随机特征对未来事件发生的可能性进行推测。其原理如下:

若把总体分布函数记为 $F(x)$, 设 $X_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$ 为独立同分布的随机变量序列, n 个随机变量的最大值为 $M_n = \max \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, 最小值为 $m_n = \min \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, 则可得最大与最小值的分布函数分别为:

$$P(M_n \leq x) = P(X_1 \leq x, X_2 \leq x, \dots, X_n \leq x) = F(x)^n, x \in R. \quad (1)$$

$$P(m_n \leq x) = 1 - P(m_n \geq x) = 1 - [1 - F(x)]^n, x \in R. \quad (2)$$

然而,在实际应用中,分布函数 $F(x)$ 基本是未知的,如果先通过样本数据对 $F(x)$ 进行估计,再用 $F(x)$ 进行极值分布的估计,那么 $F(x)$ 估计中产生的细微误差也将在 $F(x)^n$ 中明显放大。而目前可行的一种方法是承认 $F(x)$ 未知,从 $F(x)^n$ 出发,考虑 $F(x)^n$ 的渐进模型,则利用极值理论就能使问题迎刃而解。

极值理论主要有两类经典模型,分别为超阈值模型(POT)和区间最大值模型(BMM),所对应的分布分别是广义帕累托分布(GPD)和广义极值分布(GEV)。两者都是基于样本数据对分布尾部的拟合,不同于传统方法的整体建模。其区别主要在于样本数据选取方式的差异: POT 模型立足于初始样本数据确定阈值,使超过阈值的全部数

据组成新的样本数据来建模; BMM 模型是先将初始的样本数据进行有效分组,每组内取最大值,再将这些数据组成新的样本数据。两者相比较, POT 模型所需的数据量较少,在实践应用中更加有效,所以本文选用 POT 模型来研究广东省台风灾害的损失分布。

1.2 POT 模型概述

广义帕累托分布托(generalized Pareto distribution, GPD)被定义为:

$$G_{\xi, \beta}(x) = \begin{cases} 1 - (1 + \xi \frac{x}{\beta})^{-\frac{1}{\xi}}, & \xi \neq 0; \\ 1 - e^{-\frac{x}{\beta}}, & \xi = 0. \end{cases} \quad (3)$$

式中: $\beta > 0$, ξ 是形状参数, β 是尺度参数。当 $\xi \geq 0$ 时, $x \geq 0$; 当 $\xi < 0$ 时, $0 < x < -\frac{\beta}{\xi}$, 当 $\xi > 0$ 时, GPD 为厚尾分布。

基于广义帕累托分布,建立 POT 模型。记 $F(x)$ 为分布函数, 设 $X_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$ 为独立同分布的随机变量序列, u 为阈值, 我们记 $Y_i = X_i - u (i=1, 2, 3, \dots, n)$ 为超量损失, 超量损失分布 $F_u(y)$ 近似服从广义帕累托分布, 其分布表示为:

$$F_u(y) = P\{Y \leq y \mid X > u\} = \frac{F(y+u) - F(u)}{1 - F(u)}. \quad (4)$$

$$F(x) = F_u(x-u)(1-F(u)) + F(u). \quad (5)$$

对于足够大的阈值 u , 超量损失分布函数可以用广义帕累托分布近似。记作:

$$\lim_{u \rightarrow x_0} \left\{ \sup_{0 \leq y \leq x_0 - u} |F_u(y) - G_{\xi, \beta}(y)| \right\} = 0. \quad (6)$$

因此,超量损失分布函数 $F_u(y)$ 可以与 GPD 近似。

阈值 u 确定以后,通常用历史模拟法对 $F(u)$ 进行估计,即:记样本数为 n , 设 N_u 为超过阈值 u 的样本数 x 的个数,用 $\frac{n - N_u}{n}$ 近似表示 $F(u)$ 。因此得出:

$$F(x) = (1 - F(u)) G_{\xi, \beta}(x-u) + F(u) = (1 - \frac{n - N_u}{n}) \left[1 - (1 + \xi \frac{x-u}{\beta})^{-\frac{1}{\xi}} \right] + \frac{n - N_u}{n} = 1 - \frac{N_u}{n} (1 + \xi \frac{x-u}{\beta})^{-\frac{1}{\xi}}, x > u. \quad (7)$$

满足 POT 模型的分布一般呈现厚尾性,使用 POT 模型进行拟合,就不需要对整体分布进行假设。由于不受整体分布影响,残缺数据对 POT 模型的影响也较小,以此来拟合厚尾性强的广东省台风灾害损失分布的效果较好。

1.3 厚尾性检验

厚尾性分布在极值数据中普遍出现,它的尾

部往往比正态分布更“厚”，即基于相同样本数据，极大值分布的概率大于正态分布下的概率。相反，极小值分布的概率小于正态分布下的概率，称为薄尾。厚尾性检验简单方便。作为对样本数据的初步统计检验是必不可少的。P-P 图与 Q-Q 图都可以用于厚尾性检验，只是检验方法上有差异。

这里介绍 Q-Q 图的方法。正态 Q-Q 图是以样本数据的观测值为横坐标、以该数据的正态分布的期望值为纵坐标所构成的散点图。要检验样本数据是否近似于正态分布，只要观察 Q-Q 图上的点是否近似于一条直线，如果吻合，则服从线性的正态变量分位点分布；如果尾部偏离向上凸，说明它比正态分位数增长快，出现厚尾分布，反之则为薄尾分布。

1.4 帕累托检验

帕累托检验纸是在变换下使满足帕累托分布的函数呈现一条直线的图形。将帕累托检验纸作为检验工具， $x_i (i = 1, 2, 3 \cdots n)$ 为样本数据， y_i

$= \frac{x_i - \mu}{\sigma}$ 为样本数据标准化后的结果，如果观察到坐标为 (x_i, y_i) 的点组成一条近似直线，那么样本数据 x_i 来自帕累托分布总体。这种方法简单直观，被广泛运用，但也只是简单的定性分析。

1.5 阈值选取

阈值 u 的选取是 POT 模型中非常重要的问题。阈值选择的准确性，对于参数 ξ 和 β 的估计起到关键性作用。如果阈值 u 太高，会使得超量损失数据太少，将导致尺度参数 β 偏高；如果阈值 u 太低，会导致估计参数出现有偏性，无法达到拟合效果。这里列举两个阈值选取的方法：

(1) Hill 图法

Hill 的研究中，假设 $X_1 > X_2 > \cdots > X_n$ 表示独立同分布的次序统计量，可得出：

$$\gamma_{k,n} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k [\ln X(i) - \ln X(k)] \quad (8)$$

横轴为 k ，纵轴为 $\gamma_{k,n}^{-1}$ ，即 Hill 图为坐标为 $(k, \gamma_{k,n}^{-1})$ 的点构成的曲线。选取图中尾部指数稳定区域的起始点的横坐标对应的数值作为阈值 u 。

(2) 超额均值函数图

超额均值函数 (Mean Excess Function, MEF) 的定义为：

$$e_n(u) = E[X - u \mid X > u] = \left(\sum_{i=1}^n (X_i - u) \right) / n \quad (9)$$

式中： $X_i, i = 1, 2, \cdots, n$ 表示超过阈值的样本观测值。MEF 图是点 $\{u, e_n(u), u > 0\}$ 的集合，横轴为 u ，纵轴为 $e_n(u)$ ，得到相应的函数图。如果在某个观测值之后函数曲线趋于线性，那么可以确定阈值 u 为该观测值；如果阈值 u 的 MEF 为正斜率，说明数据遵循的广义帕累托分布形状参数为正。

1.6 参数估计

当针对小样本容量进行参数估计时，极大似然估计法较为准确。由于极值数据较少，这里选择使用基于 GPD 分布的极大似然估计法。GPD 的概率密度函数如下：

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} \left(1 + \xi \frac{x}{\beta}\right)^{-(1+\frac{1}{\xi})}, & \xi \neq 0; \\ \frac{x}{\beta}, & \xi = 0. \end{cases} \quad (10)$$

对于给出的超量损失 $Y_i = X_i - u (i = 1, 2, 3 \cdots n)$ ，其极大似然函数如下：

$$L(x) = \sum_{i=1}^k \ln f(x_i) = -n \ln \beta - \left(1 + \frac{1}{\xi}\right) \sum_{i=1}^n \ln \left(1 + \frac{\xi x_i}{\beta}\right) \quad (11)$$

上述公式关于参数 ξ, β 求偏导数，且令偏导数为零，化简后可得：

$$\begin{cases} (1 + \xi) \sum_{i=1}^k \frac{k_i}{\beta + \xi y_i} = n; \\ \sum_{i=1}^n \ln \left(1 + \xi \frac{x_i}{\beta}\right) = \xi n. \end{cases} \quad (12)$$

解方程组即可得 GPD 分布的参数 ξ 和 β 。

2 广东省台风灾害损失的实证研究

2.1 统计数据描述

本文使用 1984 - 2013 年广东省台风灾害损失数据作为观察样本，剔除了一些残缺的数据，共得到 113 组数据。由于数据时间跨度较大，为剔除物价水平带来的影响，以 1984 年的 CPI 为定基指数，对 1984 - 2013 年广东省每次台风灾害的损失数据进行调整，即每次的台风灾害损失数据乘以 1984 年的 CPI (1978 = 100)，再除以每年的 CPI (1978 = 100)。使用的 CPI (1978 = 100) 数据来自国家统计局网站。用 SPSS 软件对 1984 - 2013 年广东省台风灾害损失数据进行描述，具体情况如表 1 所示。

表 1 广东省台风灾害经济损失基本统计描述 (万元)

样本容量	最小值	最大值	均值	标准差	偏度	峰度
113	132.32	482839.43	49820.05	82055.42	3.52	14.33

由表 1 可知, 广东省台风灾害损失额的偏度为 3.52, 峰度为 14.33, 明显背离了正态分布 0 和 3 的偏度和峰度特征值, 明显偏离正态分布。

2.2 数据的厚尾性检验

本文中数据的厚尾性检验主要通过直方图和正态 Q-Q 图。通过 SPSS 软件做出损失额的直方图。如图 1 所示。

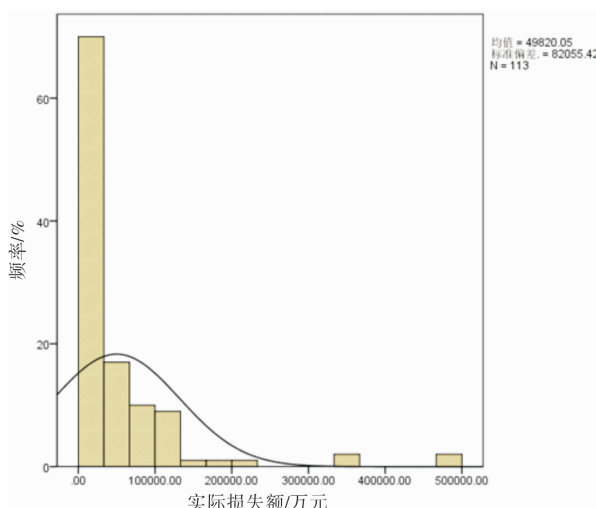


图 1 1984 - 2013 年台风灾害损失直方图

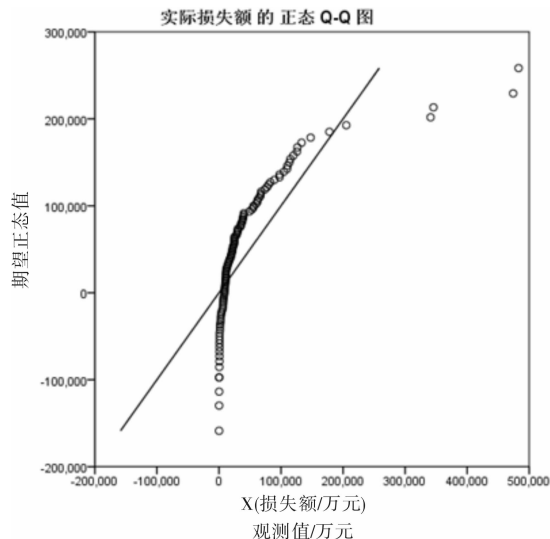


图 2 1984 - 2013 年台风灾害损失 Q-Q 图

由图 1 可以看出, 该组样本数据存在明显“尖峰、厚尾、右偏”特征。为进一步证明台风灾害损失额的厚尾性, 用 SPSS 软件观察其正态 Q-Q 图。由图 2 可知, Q-Q 图偏离正态直线向上凸, 即经验分位数比理论分位数增长快, 所以说样本数据符合厚尾性特征。由此可见, 用正态分布不能很好地拟合损失额数据, 主要原因正是极值数据的影响。因此, 我们可以考虑用 GPD 分布对这些极值数据进行拟合。

2.3 帕累托检验

用 Excel 软件绘制帕累托分布检验纸, 由图 3 可以看出, 图形中大体成一条直线, 可以接受样本数据满足帕累托分布的假设。

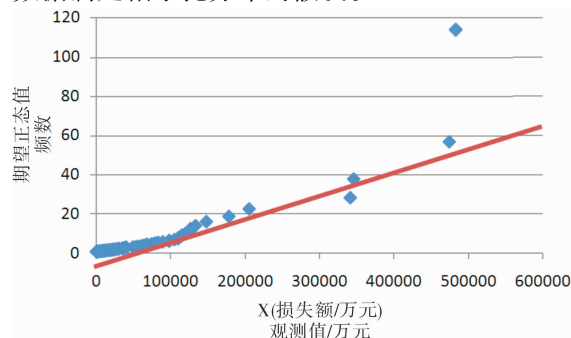


图 3 帕累托分布检验纸

2.4 阈值选取

将数据导入统计软件 R, 描绘损失数据的超额均值图和 Hill 图。由图 4 可以看出, 观测样本的超额均值明显呈上升趋势, 说明观测样本遵循形状参数 ξ 为正的广义帕累托分布。由图 5 可以看出, 尾部指数在超过 30 个左右数据后变得比较平稳。于是, 我们初步将阈值 u 确定为 55 601.92 万元, 低于该阈值 u 的台风损失属于正常范围, 超过该阈值 u 的台风损失认定为极值(图 4)。

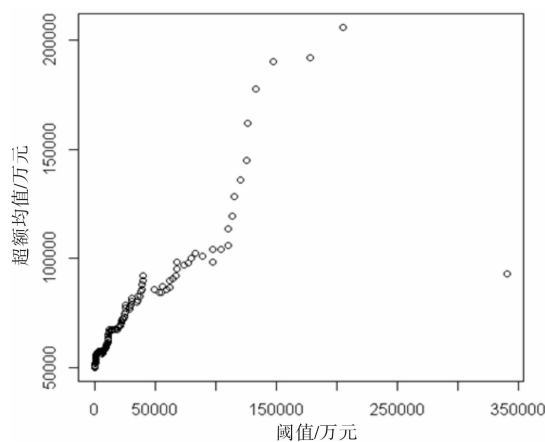


图 4 损失数据的超额均值(MEF)图

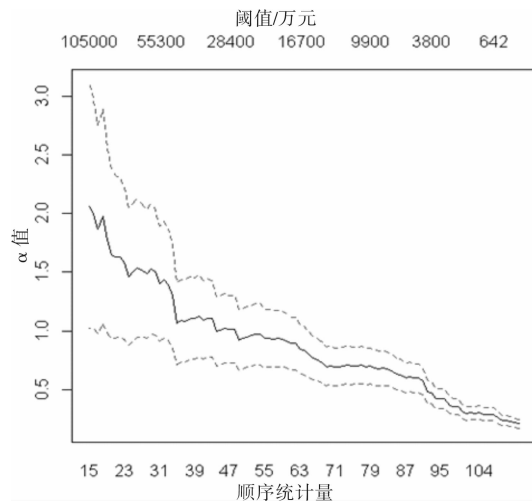


图 5 损失数据的 Hill 图

表 2 广东省台风损失的高分位数点估计

阈值 u	超额数 N_u	ξ	β	0.9 分位数	0.95 分位数	0.99 分位数	0.995 分位数	0.999 分位数
55601.9	30	0.396	53303.32	119155	181775	414449	570452	1150107

2.5 参数估计

使用 MATLAB 软件, 进行广义帕累托分布参数的极大似然估计, 形状参数 ξ 为 0.396, 尺度参数 β 为 53 303.32。所以, 广东省台风灾害经济损失分布函数为:

$$F(x) = 1 - \frac{30}{113} \left(1 + 0.396 \times \frac{x - 55601.92}{53303.32} \right)^{-\frac{1}{0.396}}, x > 55601.92. \quad (13)$$

如图 6 所示, 检验广义帕累托分布超过阈值部分的台风损失额的拟合效果, 按尾部拟合结果的累积概率分布计算, 拟合平方误差为 0.084, 平均百分比误差为 0.29%, 可见极值理论能较好地拟合数据。

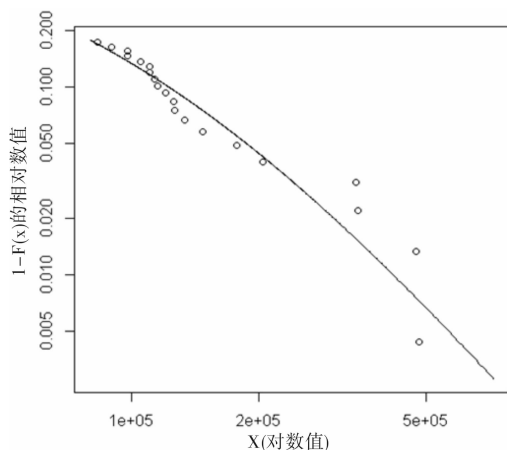


图 6 损失数据的尾部拟合

2.6 高分位数估计

由公式(7)给定某个 p 值, 可得到高分位数的估计式:

$$x_p = u + \frac{\beta}{\xi} \left(\left(\frac{n}{N_u} (1-p) \right)^{-\xi} - 1 \right). \quad (14)$$

利用该公式, 可以通过 Excel 计算出得到台风损失额的高分位数点估计值, 如表 2 所示。

从分位数的统计角度看, 广东省台风灾害损失额小于等于 181 775 万元的概率为 95%, 小于等于 414 449 万元的概率为 99%, 小于等于 570 452 万元的概率为 99.5%, 小于等于 1 150 107 万元的概率为 99.99%。

根据我国的国情, 适宜建立政府主导的巨灾保险制度。当广东省台风灾害损失低于 119 155 万元时, 风险主要由保险公司承担, 作为平常的理赔项目, 可以通过再保险公司承担一部分风险; 当台风灾害损失介于 119 155 万元和 1 150 107 万元之间时, 可以通过发行台风巨灾债券产品分散

风险; 当台风灾害损失超过 1 150 107 万元时, 超过部分可由政府出资进行补贴。

2.7 一种台风巨灾债券的设计

基于表 2 确定的触发机制, 可设计一种简单的广东省台风巨灾债券。由于巨灾风险证券化市场还不够完善, 台风巨灾数据有限, 可利用表 2 中的高分位数对台风巨灾债券进行定价。假设利率不变, 假设台风巨灾损失的触发机制为 181 775 万元, 即达到触发机制的概率为 5%。仅保证本金、本息均不保证的两种情况下, 分别对两年期的台风巨灾债券进行定价。

(1) 仅保证本金: 假设该债券的面值为 10 000 元人民币, 息票率为 8%, 无风险利率为 12%, 期限为 2 年。第一年如果没有达到台风巨灾触发机制, 那么年末支付 800 元票息; 反之, 年末不用支付利息。第二年如果没有达到台风巨灾触发机制, 那么第二年年末支付面值 10 000 元人民币和票息 800 元; 反之, 年末只需支付面值 10 000 人民币。

触发点为 (181 775, 0.05), 由此定价如下:

$$P = \frac{800 \times 0.95 + 0 \times 0.05}{1 + 0.12} + \frac{10800 \times 0.95 + 10000 \times 0.05}{(1 + 0.12)^2} = 9256.38 \text{ 元}。$$

(2) 本息均不保证: 假设该债券的面值为 10 000 元人民币, 息票率为 8%, 无风险利率为 12%, 期限为 2 年。如果两年内, 灾害没有达到台风巨灾触发机制, 那么第一年末支付票息 800 元, 第二年末支付本金和票息 10 800 元。而如果在两年内, 灾害达到台风巨灾触发机制, 则无需支付票息与本金。

触发点为 (181 775, 0.05), 由此定价如下:

$$P = \frac{800 \times 0.95 + 0 \times 0.05}{1 + 0.12} + \frac{10800 \times 0.95 \times 0.95}{(1 + 0.12)^2} = 8448.82 \text{ 元}。$$

3 总结与启示

本文利用基于极值理论的 POT 模型分析气象巨灾风险的尾部特征, 结果显示传统方法使用的正态分布对损失数据的拟合并不理想, 而 POT 模型在气象灾害损失尾部拟合中体现了优势, 应用前景十分广阔。为今后气象巨灾证券化产品的定价提供了数学依据, 具有重要的实践意义。

从以上研究可见, 巨灾带来的损失是非常大的。除了上文所提到的通过发行巨灾债券来分散巨灾风险, 广东省还需多方调度, 协调配合, 多措并举, 方能有效进行气象风险管理。这里从金融视角继续对气象巨灾的应对提出建议。

第一,建立巨灾保险制度,设立灾害管理基金。目前,当面临重大气象灾害时,大部分损失都由企业和个人自己承担,而救灾也给政府带来不小的财政负担。因此,有必要建立以政府为主导的气象巨灾保险体制,将保险公司和再保险公司纳入保险体制中,发挥其商业化作用。设立气象灾害管理基金,可以由专业机构进行管理,在灾害发生时,能保障资金迅速、准确到位。如果保险公司和再保险公司破产或被撤销,其有效资产不能全额履行保单责任,那么气象灾害管理基金仍然能向被保险人提供支持。2014 年深圳作为国内首个巨灾保险试点城市,其巨灾保险体系由三部分构成,政府巨灾救助保险、巨灾基金和个人巨灾保险,能为巨灾保险制度的建立提供参考^[18]。

其次,借鉴国际先进经验,落实巨灾保险立法。根据国外巨灾风险管理的经验,无论何种保险模式,立法都是制度之根本。因此,依据我国的国情和灾情,要落实气象巨灾保险制度,必须法律先行。国家应尽早出台相应法律,明确政府和保险公司的职责,各司其职,明确分工、有效协调。

第三,配合承灾能力评级,制定相应保险产品。完备的巨灾保险制度,除了需要政府和保险机构的合作与协调,还需要企业的有效配合。在灾情严重的地区,企业的巨灾投保十分重要。为实现承保与被保的“双赢”,广东省可以根据当地具体情况对承灾能力划分等级区间,由专业部门对投保企业的承灾能力进行评估,依照标准确定等级,再由保险公司提供相应的巨灾保险产品。一方面,可以最大化保障保险公司的利益,吸引其加入巨灾保险制度,使其愿意承担巨灾保险责任;另一方面,督促企业建设自身安全设施、规范防灾措施、提升抗灾等级。

第四,发挥政策引导作用,实现金融产品与巨灾风险管理的结合。将金融产品与气象巨灾风险管理相结合,需要政策的引导。在政策上,广东省可以积极鼓励金融机构开发巨灾类金融产品,诸如减免税收、提供补贴、评优奖励等优惠政策,以刺激相关金融产品的发展,以保险、债券等形式分散气象灾害损失风险,通过多层次的风险分散机制以分散巨灾风险,充分发挥金融保险行业对受灾者的救助、损失转移和风险分担等作用。

第五,促进金融保险产品创新,实现多样化、精细化发展。面对巨大的损失赔付,仅依靠巨灾债券、保险产品和再保险产品是完全不够的,必须鼓励气象巨灾风险证券化,促进金融产品研究创新,朝多样化、精细化发展,如气象巨灾期权、

行业损失担保、巨灾风险互换、气象巨灾彩票等等。

当然,本文中还存在很多不足:一方面,广东省早期的台风灾害经济损失数据很难找到,且本文的样本量较小,会影响模型的精度;另一方面,本文的阈值选取所用的方法不够精确,阈值的选取可能也不尽合理等等,种种不足,留待今后认真研究。

参考文献:

- [1] 曹楚,彭加毅,余锦华. 全球气候变暖背景下登陆我国台风特征的分析[J]. 大气科学学报, 2006, 29(4): 455-461.
- [2] 徐良炎,高歌. 近 50 年台风变化特征及灾害年景评估[J]. 气象, 2005, 31(3): 41-45.
- [3] 隋广军,唐丹玲. 台风灾害与地区经济差距: 粤省证据[J]. 改革, 2012, (6): 18-25.
- [4] 雷永登,王静爱,黄晓云. 广东省台风灾害风险及适应对策研究[C]//中国灾害防御协会风险分析专业委员会. 风险分析和危机反应的创新理论和方法——中国灾害防御协会风险分析专业委员会第五届年会论文集. 中国灾害防御协会风险分析专业委员会, 2012: 1-6.
- [5] Fisher R A, Tippett L H C. Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample[J]. Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, 1928, 24(2): 180-190.
- [6] Gumbel E J. Statistics of Extremes[M]. New York: Columbia University Press, 1958: 1-30.
- [7] Pickands III J. Statistical inference using extreme order statistics[J]. The Annals of Statistics, 1975, 3(1): 119-131.
- [8] Embrechts P, Klüppelberg C, Mikosch T. Modelling Extremal Events for Insurance and Finance[M]// Berlin: Springer, 1997: 183-199.
- [9] Nadarajah S. Approximations for bivariate extreme values[J]. Extremes, 2000, 3(1): 87-98.
- [10] Dupuis D J. Exceedances over high thresholds: A guide to threshold selection[J]. Extremes, 1999, 1(3): 251-261.
- [11] Reiss R D, Thomas M, Reiss R D. Statistical analysis of extreme values[J]. Birkhäuser Verlag Basel, 1997, 106(6): 10915-10921.
- [12] Froot K A, O'Connell P G J. On the pricing of intermediated risks: Theory and application to catastrophe reinsurance[J]. Journal of Banking & Finance, 2008, 32(1): 69-85.
- [13] Izgi B, Duran A. 3D extreme value analysis for stock return, interest rate and speed of mean reversion[J]. Journal of Computational & Applied Mathematics, 2016, 297: 51-64.
- [14] 潘家柱,丁美春. GP 分布模型与股票收益率分析[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2000, 36(3): 295-306.
- [15] 欧阳资生. 极值估计在金融保险中的应用[M]. 北京: 中国经济出版社, 2006: 77-92.
- [16] 史道济. 实用极值统计方法[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 2006: 53-106.
- [17] 许玲燕,王慧敏,陈军飞. 基于 Copula-EVT 模型的干旱灾害风险评估[J]. 数理统计与管理, 2013, 32(2): 284-294.
- [18] 吴先华,邹焱,郭际,等. 公众认知、感知价值与灾害气象服务满意度的关系研究——以深圳市 3 029 份《公众气象安全认知度调查问卷》数据为例[J]. 灾害学, 2015, 30(1): 150-156.

(下转第 220 页)

- [9] Bustince H, Burillo P. Vague sets are intuitionistic fuzzy sets [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1996, 79(3): 403–405.
- [10] Cao J, Yang X G, Wang S Y. Key scientific problem in public emergency management [J]. *Public Management*, 2007, 4(2): 84–93.
- [11] 程铁军, 吴凤平. 基于模糊信息的突发事件应急群决策研究 [J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2013, 15(5): 98–101; 106.
- [12] 徐选华, 蔡晨光, 王佩, 等. 面向具有多部门多指标特征的复杂大群体应急决策方法 [J]. *控制与决策*, 2016, 31(2): 225–232.
- [13] 王剑, 罗东. 基于 BDN 的突发事件多主体应急决策模型研究 [J]. *中国管理科学*, 2015, 23(S1): 316–324.
- [14] 吴静杰, 杨乃定. 一种基于直觉模糊数的应急群决策方法 [J]. *统计与决策*, 2015, 31(17): 77–79.
- [15] Wang F S, Wu L F, Rong Q B, et al. Decision – making model for ranking earthquake emergency events based on intuitionistic fuzzy sets [J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2012, 204(10): 2488–2493.
- [16] 李琳, 刘雅奇, 李双刚. 一种群决策专家客观权重确定的改进方法 [J]. *运筹与管理*, 2011, 20(4): 77–81; 99.
- [17] 戚筱雯, 梁昌勇, 张恩桥, 等. 基于熵最大化的区间直觉模糊多属性群决策方法 [J]. *系统工程理论与实践*, 2011, 31(10): 1940–1948.
- [18] 阎瑞霞, 刘金良, 姚炳学. 一种群组决策中专家权重确定的方法与应用 [J]. *统计与决策*, 2007, 23(23): 84–86.
- [19] 赵萌, 任嵘嵘, 邱菀华. 基于直觉模糊熵的专家权重确定方法及其验证 [J]. *控制与决策*, 2015, 30(7): 1233–1238.
- [20] Chen S M, Tan J M. Handling multicriteria fuzzy decision – making problems based on vague set theory [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1994, 67: 163–172.
- [21] Xu Z S. Intuitionistic fuzzy aggregation operators [J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2007, 15: 1179–1187.

Research on Priority Ranking of Disaster Chain Emergency System Based on the Degree of Hesitation

GUO Yanjun and LI Fang

(University of Shanghai for Science and Technology School of management, Shanghai 200093, China)

Abstract: With respect to the problems of multiple attribute emergency group decision-making in which the attribute weights is incomplete, intuitionistic fuzzy sets of attribute is proposed. Based on the degree of hesitation, by linear programming method, optimal attribute weights for multiple attribute emergency group decision making system can be derived. In order to solve the issue of decision maker's subjective preference of decision system, a new decision-making method based on the integrated intuitionistic fuzzy sets has been raised, which utilize the score ranking method and the IFHA operator to aggregate, thereby reducing the effect of subjective preference of the decision. Finally, through a priority ranking case of secondary disasters in disaster system and results of the application examples verify the effectiveness and feasibility of the proposed method.

Key words: hesitancy degree; intuitionistic fuzzy sets; multi-attributes decision making; emergency decision making; ranking; disaster chain

(上接第 131 页)

Analysis of the Distribution and Financial Countermeasures of Typhoon Disaster Losses in Guangdong Province Based on Extreme Value Theory

WU Yaling¹, JIANG Shan³, WU Xianhua^{2, 3} and ZHOU Lei³

- (1. The National Climate Observatory in Shenzhen City, Shenzhen 518040, China;
2. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;
3. School of Economics and Management, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Guangdong Province is one of the regions with the most serious typhoon disasters in China. As the high level of economic development, the potential risk of catastrophe is improving significantly. we fit the loss data of typhoon disasters in Guangdong Province with POT model based on extreme value theory in recent years. Then we analyze the thick tail characteristics of catastrophe losses and simply design a type of the typhoon catastrophe bonds. Finally, the corresponding countermeasures and suggestions are put forward from the financial point of view.

Key words: extreme value theory; POT model; typhoon disasters; loss distributions; financial countermeasures; Guangdong Province