

自然巨灾风险评估综述

祝伟 陈秉正¹

摘要: 作为巨灾保险和巨灾风险金融衍生产品的定价基础,巨灾风险评估是巨灾风险研究的重要组成部分。本文对巨灾风险评估的研究文献进行了梳理,综述了巨灾风险评估的研究和应用进展,并对巨灾风险评估在中国的应用进行了初步探讨。

关键词: 自然灾害; 巨灾风险; 巨灾保险;

自然灾害一般包括地震、飓风、山体滑坡、火山爆发、地热运动、海啸,与住宅用地直接相关的洪水,以及由上述自然灾害引起的火灾等。由于上述自然灾害可能导致巨额损失,因此自然灾害风险一般也可称为自然巨灾风险,以强调其风险的严重性,下文简称为巨灾风险。

近年来自然灾害频发,如美国 2005 年的卡特里娜飓风、2008 年中国汶川大地震等,上述自然灾害导致了巨额的经济损失和严重的社会影响,巨灾风险成为很多国家面临的重大风险。作为保险行业,在面临巨灾风险时发挥着重要的作用。商业保险和再保险公司在承担巨灾风险的一个基本前提是对巨灾风险具有充分的认识,但由于巨灾风险的保险因为不满足大数法则,在传统上具有不可保性。近年来伴随巨灾建模方法在理论研究和实际应用中的迅速发展,巨灾损失的估计结果和实际损失的差距迅速减小,从技术上看,巨灾保险已具有可行性。作为巨灾保险和巨灾风险的金融衍生产品的定价基础,巨灾风险评估方法的迅速发展促进了巨灾风险转移的迅速发展,巨灾保险市场和巨灾风险的金融衍生品市场的规模迅速扩大 (Sigma,2006)。本文将对巨灾风险评估的理论和方法进行综述。

1、巨灾损失指数

巨灾风险的评估一般需要以下几类数据(Swiss Re, 2003): (1) 灾害数据,包括自然灾害发生的地点、频率和强度;(2) 易损性数据,指在既定的自然灾害强度下造成的毁坏程度方面的数据;(3) 价值分布数据,指种类保险标的分布及其各自的价值;(4) 保险条件方面的数据,指购买保险的损失占总损失的比例。

基于上述几方面的数据,可以选择以下几类指标(源于原始数据的或经过加工的)作为巨灾风险的评估依据,上述指标称为巨灾损失指数:(1) 基于实际发生事件的参数,如地震的强度或飓风的风速。Parametric 再保险有限公司发行的一种巨灾债券,就是使用日本气象局测量的东京及周边地区的地震活动强度作为计算赔付的基础。(2) 参数指数,基于特定公式计算得出的参数。(3) 模型损失指数,将实际物理参数输入事先约定的模型计算得出的损失指数。(4) 行业指数,基于全行业的损失指数,如美国财产理赔服务署(Property Claim Services)公布的 PCS 巨灾损失指数,1997 年瑞士再保险公司发行的巨灾债券即以该指数作为标的。(5) 行业指数权重数,是在事件发生后通过模拟损失方法来设置的。(6) 实际损失,对于保险公司而言,为实际的保险损失。(Sigma, 2006)

基于上述各类巨灾损失指数的巨灾合约在实际中均有应用,应用较广泛的是基于实际参数、行业巨灾损失指数或实际损失作为触发机制的巨灾保险合同或金融衍生品。从研究和应用角度看,目前也比较集中于实际参数、行业指数及实际损失进行巨灾风险的建模。

¹祝伟,清华大学经济管理学院博士后;陈秉正,清华大学经济管理学院教授、博士生导师

2、巨灾风险评估的理论研究

巨灾风险评估的理论研究目前从两个方面展开：(1) 基于巨灾损失指数数据的估计，得出巨灾风险的评估指数的分布模型，从而为巨灾风险定价奠定基础，这方面的研究包括 Chernobail et al.(2006)和 Zimbidis et al(2007)等。(2) 在对巨灾损失指数的变动特点进行一定观察的基础上，假设巨灾损失指数服从某一随机过程。此类方法的重点不是寻求巨灾损失指数分布的最佳拟合，而是运用相应的数学工具分析巨灾损失指数变动对巨灾风险定价的关系。本部分内容将对上述三个方面的研究进行梳理。

2.1 巨灾损失分布的估计方法

2.1.1 基于实际参数的巨灾损失分布估计

Zimbidis et al(2007)运用极值分布理论对地震强度进行了估计，基于希腊的地震历史数据估计得出了地震强度所服从的极值分布。首先，Zimbidis et al(2007)运用地震强度作为风险损失指数对地震风险进行衡量，其模型如下。

Zimbidis et al(2007)定义了一个随机变量序列的最大值 $M_n = \max\{X_{1n}, X_{2n}, \dots, X_{mn}\}$ ，此处 $X_{1n}, X_{2n}, \dots, X_{mn}$ 为一个独立同分布的随机变量序列，例如，可以代表希腊某年的每日地震强度 ($m=365$)， M_n 即代表第 n 年地震强度的最大值。对于 M_n 存在以下定理：

如果存在常数序列 $\{a_n : a_n > 0 \forall n \in \mathbf{N}\}$ 和 $\{b_n : b_n > 0 \forall n \in \mathbf{N}\}$ 使得

$$\Pr[M_n^* \leq z] = \Pr\left[\frac{M_n - b_n}{a_n} \leq z\right] \rightarrow G(z) \text{ 当 } n \rightarrow \infty, z \in \mathbf{R}$$

G 为非退化的分布函数，则 G 属于三类极值分布 (Gumbel 分布、Frechet 分布和 Weibull 分布，值得注意的是，此处的 Weibull 分布定义与通常使用的 Weibull 分布不同) 之一，并且这三类分布具有统一的表达式。

Zimbidis et al(2007)基于希腊 1966-2005 年的每年最大地震强度的数据，运用极大似然估计法估计得出了希腊地震强度随机变量服从的极值类型及参数。结果表明，地震强度服从的极值分布类型为 Weibull 分布，估计参数为 $(\hat{\xi}, \hat{\sigma}, \hat{\mu}) = (-0.1977803, 0.3656859, 5.6708431)$ 。基于上述估计结果，Zimbidis et al(2007)运用随机模拟方法对多期巨灾债券进行了定价分析 (利率假设为常数)。

2.1.2 基于 PCS 指数的巨灾损失分布估计

PCS 巨灾损失指数是反映美国保险行业巨灾损失的指数，该指数由美国保险服务办公室 (the Insurance Service Office, ISO) 下属的财产理赔服务署 (Property Claim Services, PCS) 编制和发布，目前是度量美国巨灾引起的保险损失的权威性指数。PCS 巨灾损失指数包含 1949 年至今的每日数据，在 PCS 巨灾损失指数编制之初，巨灾事件被定义为损失额为 500 万美元以上且影响了大多数的保险公司和投保人的自然灾害事件，随着经济条件的变化，1997 年 ISO 将巨灾事件定义为损失额为 2500 万美元以上的自然灾害事件。该巨灾损失指数包括直接和间接的保险损失，包括不动产 (real property) 的损失、建筑物内的财产损失 (content of the building)、生活费用 (对于居民的保险)、生意中断成本等。目前在芝加哥交易所 (CBOT) 交易的巨灾期权 (包括买权、卖权和价差期权) 所涉及的 PCS 巨灾损失指数包括下述 9 个指数 (Burnecki et al., 2000)

(1) 1 个全国性巨灾损失指数，该指数覆盖美国整个保险行业巨灾损失；

(2) 5 个区域性的巨灾损失指数, 包括美国东部巨灾损失指数、东北部的暴风雨(storms)巨灾损失指数、东南部的飓风(hurricanes)巨灾损失指数、中西部的洪水和暴风雪(floods, snow storms)巨灾损失指数和西部的地震和海啸(earthquakes, tsunami waves)巨灾损失指数;

(3) 3 个州的巨灾损失指数, 包括佛罗里达州的飓风巨灾损失指数、德克萨斯州的(tornadoes)龙卷风巨灾损失指数和加利福尼亚州的地震巨灾损失。

巨灾损失的度量包括两个时期: 损失期(loss period)和进展期(development period)。上述大多数巨灾损失指数的损失期为 1 个季度, 只有西部指数和加利福尼亚州指数的损失期为 1 年; 进展期在损失期之后, 在进展期会对损失期发生的巨灾损失进行估计或重新估计, PCS 巨灾期权的使用者可以选择进展期为 6 个月或 12 个月的巨灾期权。在进展期的到期日估计出的巨灾损失指数值将作为期权现金流支付的依据(Schradin, 1996)。

Burnecki et al.(2000)分别运用对数正态分布、Gamma 分布、Pareto 分布和 Burr 分布对 1949 至 2000 年的每季度的全国性的 PCS 巨灾损失指数进行了拟合, 得出混合的对数正态分布的拟合效果最佳。

Chernobail et al.(2006)指出, 由于巨灾损失指数的数据是截尾的, 因此需要运用截尾分布进行研究。该文基于 1990 年至 1999 年 PCS 巨灾损失指数数据(在该文中, 将巨灾事件定义为损失超出 2500 万美元的灾害事件, 对 1990-1996 年的数据进行了相应的调整。), 选用截尾指数分布、截尾对数正态分布、截尾 Gamma 分布、截尾 Weibull 分布、截尾 Burr 分布、截尾广义 Pareto 分布和截尾对数 α -stable 分布等进行了拟合。在该文中, 将 1990-1996 年索赔金额(claim size)数据作为样本内 (in-sample)数据进行了拟合检验, 1997-1999 年索赔金额数据作为外推样本 (out-sample)进行了预测效果的比较。结果表明, 截尾对数正态分布的拟合检验和预测效果两方面的表现均较好, 说明索赔金额的分布可以运用对数正态分布进行描述。巨灾事件发生的频率一般可以用泊松过程进行描述, Chernobail et al.(2006)分析了巨灾事件在 1990-1997 年巨灾事件的各季度发生次数, 运用双随机泊松过程对数据进行了估计拟合, 其中, 双随机泊松过程的强度参数 $\lambda(t)$ 的估计式为

$$\hat{\lambda}(t) = 3.0 + 8.75 \ln t - 6.84 s$$

2.2 巨灾风险评估的理论模型

记 t 巨灾损失总额为 $L(t)$, 巨灾损失的发生次数为计数过程 $N(t)$, 每次巨灾损失的金额为 l , l 为独立同分布的随机变量。巨灾损失的连续时间的随机模型包括:

1. 第一类模型

$$L(t) = \sum_{i=1}^{N(t)} l_i \quad (2.2.1)$$

一般假定 $\{N(t): t \geq 0\}$ 服从泊松过程, 即 $L(t)$ 服从复合泊松过程, 该模型在巨灾损失建模中得到了广泛的应用, 如 Aase(1999), Christensen and Schmidli (2000), Lee and Yu(2002), Cummins et al.(2004), Biagini et al. (2008), Egami and Young(2008) 和 Lin and Wang(2008) 等论文中均使用了该模型。Bakshi and Madan(2002)在上述模型中考虑了利率因素的影响, 将巨灾事件发生的损失进行了折现, 给出了巨灾损失的现值模型。Aase(2001)运用 Markov 过程描述了巨灾损失的变动, 依据转移概率的变动情况将巨灾损失分为三类, 将之用于巨灾期货和期权的定价。

2. 第二类模型

$$L(t) = \exp\left[\left(u - \frac{1}{2}\sigma^2\right)t + \sigma W_t\right] \quad (2.2.2)$$

上式中 W_t 为标准布朗运动, u 和 σ 为常数, 分别代表漂移项和扩散项系数。上式假定, $L(t)$ 为几何布朗运动。Litzenberger et al.(1996)对美国 1956 年至 1994 年巨灾损失率数据进行了分

布拟合,发现对数正态分布的拟合效果较好,即巨灾损失率可以用几何布朗运动描述。基于此实证结果,Litzenberger et al.(1996)计算了巨灾期权的价格变动,并初步探讨了与巨灾衍生品相关的资产配置问题。

3. 第三类模型

$$dL(t) = g(t)dt + dJ(t) \quad (2.2.3)$$

$$g(t) = \exp\left[\left(u - \frac{1}{2}\sigma^2\right)t + \sigma W_t\right] \quad (2.2.4)$$

$$J(t) = \sum_{i=1}^{N(t)} l_i \quad (2.2.5)$$

上述公式中, $g(t)$ 表示几何布朗运动,代表巨灾损失 $L(t)$ 的连续变动部分; $J(t)$ 为复合泊松过程,代表 $L(t)$ 的跳跃部分。Chang et al(1996, 2008)和 Geman and Yor(1997)等运用上述模型研究了巨灾风险的金融衍生产品的定价。

3. 第四类模型

$$L(t) = \exp\left[\left(u - \frac{1}{2}\sigma^2\right)t + \sigma W_t + \sum_{i=1}^{N(t)} \ln l_i\right] \quad (2.2.6)$$

上式中巨灾损失 $L(t)$ 同样包括两部分:连续变动部分 $\exp\left[\left(u - \frac{1}{2}\sigma^2\right)t + \sigma W_t\right]$ 和跳跃部分 $\exp\left[\sum_{i=1}^{N(t)} \ln l_i\right]$ 。但模型(1.2.8)与第三类模型是不同的:此模型中跳跃部分为乘积形式,而第三类模型中跳跃部分为求和形式。由于数学上的易处理和在实际数据的拟合中得到的支持(如PCS公布的巨灾损失率数据可以用对数正态分布描述),模型(2.2.6)得到了较广泛的应用。如 Cummins and German(1995), Wang et al(1996), Kau and Keenan(1996), Lee and Yu(2002), Vaugirard(2003), Cox et al.(2004), Jaimungal and Wang(2006), Egami and Young(2008), Lin et al.(2009)和 Lin and Chang(2009)等。Cox et al.(2004)将保险人面临的巨灾索赔总额被描述为一个几何复合泊松过程:索赔次数服从参数为 λ 的泊松过程,每次索赔额为常数 A ,即令 $l_i = A, \mu = 0, \sigma = 0$ 。Jaimungal and Wang(2006)对 Cox et al.(2004)进行了扩展:将每次索赔额为常数的假设扩展为每次索赔额为一随机变量。Lin et al.(2009)对美国 1950 年至 2004 年巨灾事件的发生数的数据进行了观察,发现每年巨灾事件的发生数呈现为指数增长趋势,因此用于反映巨灾事件发生频率的泊松过程参数 λ 为常数的假设与实际观测数据不符,由此出发, Lin et al.(2009)将泊松过程参数定义为几何布朗运动,从而将泊松过程推广为双重随机泊松过程(doubly stochastic Poisson process)。

值得指出的是,Chang and Hung(2009)仍将巨灾损失描述为复合泊松过程,但关于每次损失的分布设定则不同。该文假定每次损失对数值的分布为非对称的双指数分布。基于上述模型设定,对巨灾看跌期权的定价进行了研究,得出了闭合解并给出了随机模拟示例。

3 巨灾风险评估实践——评估巨灾损失的随机模拟模型

在保险行业广泛应用的巨灾风险评估方法可以称为巨灾风险评估的随机模拟方法,该方法以相关理论为指导(例如,地震巨灾风险的建模需要以地震学的相关理论为指导),建立巨灾损失模型,基于巨灾损失的历史数据,运用大量级的随机模拟对发生的巨灾损失进行估计,为保险行业的定价和风险转移提供依据。这一方面的研究在实务中得到了广泛的应用。1997年推出的美国灾害模型(Hazards U. S.),该模型在2004年推出了更新版本HAZUS-MH,包括了地震灾害模型、飓风和洪水灾害模型;巨灾损失建模的咨询服务公司如AIR(Applied Insurance Research)国际公司、风险管理方案服务公司(Risk Management Solution, RMS)和EQECAT有限公司均提供巨灾损失的随机模拟分析软件(Grossi and Kunreuther, 2005),大型

的再保险公司如瑞士再保险、苏黎世保险和慕尼黑再保险公司开发了相应的软件用于巨灾损失的估计和巨灾保险的定价。此类模型主要针对实际的保险损失进行建模,建模过程可以描述为:基于巨灾事件的历史数据运用概率分布函数描述相关的随机变量,以相关学科的理论为指导,运用随机模拟方法生成足够大数量的巨灾事件,计算得出相关的灾害参数的模拟值,最后输出估计结果:一是标注有巨灾损失信息的地理信息系统(Geographic Information System, GIS)地图;二是超出损失频率曲线。巨灾模型将详细的数据和自然灾害的科学理论及工程实践结合起来,运用随机模拟分析的方法对实际巨灾损失进行度量,这一方法在巨灾保险和巨灾风险的金融衍生品定价的实务中得到了广泛的应用。

3.1 模型的组成部分

Grossi and Kunreuther(2005)对在实际中应用的包含随机模拟的巨灾模型进行了概括,指出巨灾模型一般包括以下四个组成部分:(1)灾害模块(Hazard Module),包含了巨灾事件的物理参数信息,提供了反映巨灾严重程度的物理参数的描述。(2)存货模块(Inventory Module),包括与建筑物及其内部附属物的信息,提供了巨灾事件可能损坏的建筑物的全面信息。(3)易损性模块(Vulnerability Module),该模块描述了所发生的自然灾害对在险标的的物理损害。(4)损失模块(Loss Module),该模块包括直接损失和间接损失两部分,直接损失包括修理成本和重置成本等;间接损失包括商业中断导致的经济损失和居民重新安置的成本等。四个模块之间的关系见图 1。



图 1 巨灾风险评估的随机模拟模型的组成

3.1.1 灾害模块

该模块包含四方面的灾害参数的估计信息:

1、未来巨灾事件最可能发生的地点。

对于地震巨灾事件,包括震中位置、地震强度、地震地面运用的衰减速率、地震影响范围内的地质条件(如土壤类型:软土还是硬土)等对地震灾害导致的后果具有明显的影响的相关参数的信息。对于飓风事件,包括风暴路径、登陆地点和登陆轨迹角等参数信息。

由于严重程度越高的巨灾事件发生频率越低,限于历史数据的不足,缺乏严重程度很高的巨灾事件的数据资料,此时需要借助相关学科的理论对未来可能发生的巨灾事件进行模拟预测。

2、巨灾事件发生的频率。

巨灾事件的每年发生概率的估计通常是灾害模块中不确定程度最高的,模型一般运用相关理论对巨灾事件的发生频率进行估计。例如,在地震学中,通常将地震发生频率和地震震级的关系建模为特征地震分布和 Gutenberg-Richter 分布的混合。Gutenberg-Richter 关系式对于相当大范围内的地震震级均是成立的,该关系式可以描述为 $\log(N) = a - bM, M \in [M_1, M_2]$, 其中 M 表示地震震级, N 表示一定规模的地震事件的平均年发生频率。

3、巨灾事件的严重性程度。

描述飓风严重性程度的基本参数包括中心气压、移动速度,最大风力半径和登陆轨迹角;影响地震事件严重性程度的参数包括地震震级、地震深度和不同的地质断裂带特征等。

4、局部烈度参数和位置效应。

为度量自然灾害造成破坏的严重程度,模型不仅要估计自然灾害的物理参数,还需要估计被影响的建筑物的位置影响。危害模块的这一部分被用于捕捉伴随灾害在被影响地区的传播及其烈度的变化状况。

3.1.2 存货模块

建筑物存货信息是巨灾模型中的关键输入之一,包括建筑物数量、按建筑物的用途(住宅、商用或工业建筑物)、建筑物的整体状况(主体结构、附属结构、时间因素等)、入住率和建筑类型(砖石建筑等)划分的建筑物的价值等。这一模块是易损性模块建模的基础之一。

3.1.3 易损性模块

易损性模块用于估计不同水平的巨灾事件对标的建筑物造成的损害程度。在本模块中广泛应用的评估方法是基于工程学科的易损性评价技术,该方法有两个主要步骤:

1、典型建筑物的定义与识别

在调查一个地区的建筑物存货时,最重要的是评估不同类型的建筑结构的统计构成。不同类别的建筑物识别需要考虑建筑材料(钢或钢筋混凝土)、建筑结构(矩框架或支持框架)和建筑高度等不同因素,从而给出所研究地区的典型建筑物的划分。

2、建筑物抗灾能力的评估

建筑物抗灾能力由外部施加的强度对建筑物造成的损害程度来衡量。对于地震灾害,通常运用易损性曲线来描述上述关系,一个给定损害状态(损害状态可划分为轻度、中度和严重损害以及完全损坏等状态)的易损性曲线描述了标的地区的地震动的强度变化引起的建筑物实际损害超出指定损害状态的概率变化。

3.1.4 损失模块

目前,在损失模块中应用较多的是成本模型,该模型将物理损害的估计转化为了经济损失的估计。该模型估计了被损害的结构和非结构部分的建筑物的修理和重置成本,由此计算得出总损失,进而应用保险合同规定的保险理赔条件确定承保损失。

3.2 巨灾模型的随机模拟和输出结果

巨灾模型输出的第一个结果是标有巨灾损失信息的地理信息系统地图;另一输出结果是损失频率曲线(Loss frequency Curve or Exceedance Probability Curve),该曲线描述了在给定时间区间内巨灾损失超出某一给定损失值的概率。巨灾损失模型的后一输出结果对于保险行业更为重要,下文将对介绍超出损失频率曲线的计算过程。

对于一系列巨灾事件按损失严重程度从大到小排序为 $\{E_i, i=1, \dots, n\}$,每一事件的年发生概率为 p_i ,导致的巨灾损失为 L_i 。假设巨灾事件 $\{E_i, i=1, \dots, n\}$ 服从二项分布,则在某年第 i 个事件的平均损失为 $p_i L_i$,巨灾导致的年平均损失记为 AAL ,有 $AAL = \sum_i p_i L_i$ 。超出某一给

定巨灾损失水平 L_i 的超越概率记为 $EP(L_i)$,则 $EP(L_i) = 1 - \prod_{j=1}^i (1 - p_j)$,由此可以计算得出不同巨灾损失水平 L_i 下的超越概率,形成损失频率曲线。损失频率曲线给出了巨灾损失的概率估计,为巨灾损失的度量和巨灾保险及巨灾衍生产品的定价奠定了基础。

3.3 巨灾损失的不确定性对巨灾模型的影响

巨灾建模过程中包含有两类不确定性影响因素:客观存在的不确定性和认识不足导致的不确定性。第一类不确定性与巨灾事件直接相联,如自然灾害事件的发生和建筑物的易损性即代表了此类不确定性,我们不能通过收集更多的数据来减少此类不确定性;第二类确定

性是由于缺乏数据或对自然灾害的认识不足导致的,此类不确定性可以通过增加数据收集加以减少,在巨灾模型的四个模块中均包含由于数据缺乏或认识不足导致的此类不确定性。由于上述两类不确定性的存在,随机模拟方法成为运用巨灾模型度量或预测巨灾损失的基本工具。

在巨灾模型中为得到损失频率曲线,一个广泛使用的技术是结合逻辑树和随机模拟方法进行模拟计算。逻辑树的每一分支代表从一个概率分布中得出的一个样本点。例如,考虑两个地震动的衰减方程, $Y_1 = F_1(f, M, r, Source, Site)$ 和 $Y_2 = F_2(f, M, r, Source, Site)$ (f 表示地震频率, M 表示地震震级, r 表示标的所在地区离震中的距离, $Source$ 反映了震源的断裂机制, $Site$ 表示土壤对地震动的局部效应), 分别代表地震动的两个样本点。

假设存在一系列的状态假设 $\{A_i, i=1, \dots, n\}$, 表示对于模型参数、数据和数学模型所有可能假设的全集, 进一步假定逻辑树的每一分支代表一个状态假设, 逻辑树的每一分支状态 A_i 将产生一条损失频率曲线 $EP(L, A_i)$ (L 表示给定的巨灾损失值), 如果赋予每一状态假设一个主观概率 $\{w_i, i=1, \dots, n\}$, 将得出的每一损失频率曲线 $EP(L, A_i)$ 进行排序, 可以得出损失频率曲线 $EP(L, A_i)$ 的均值曲线、中位数曲线和置信区间曲线。由此给出了损失频率曲线 $EP(L, A_i)$ 的点估计和区间估计。

3.4 商业巨灾风险评估模型的比较及开放的巨灾风险评估模型的发展

Kishi(2007)分别运用AIR、RMS和EQECAT巨灾损失模拟软件对2005年的卡特里娜飓风(Katrina)飓风导致的美国保险行业的损失进行了估计, 结果如图2所示。

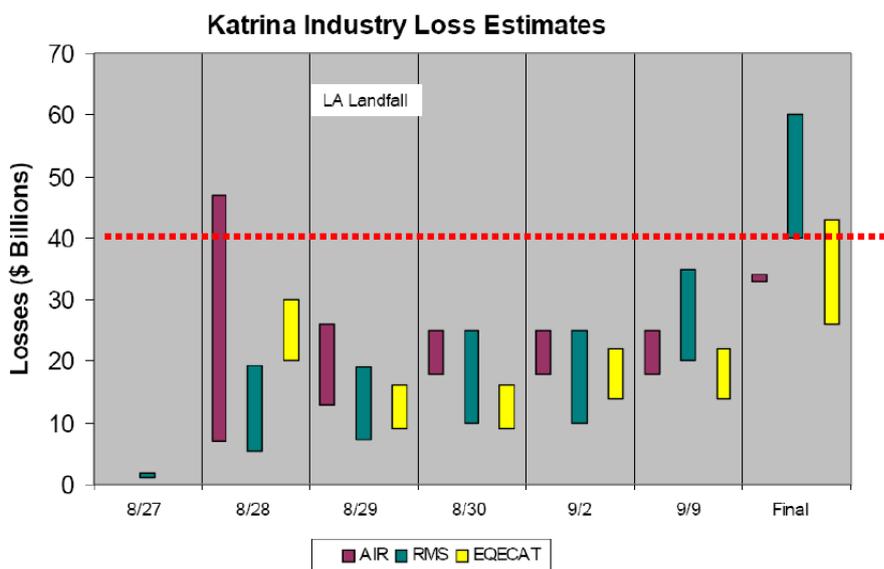


图2 卡特里娜飓风造成的美国保险行业巨灾损失估计(Kishi, 2007)

可以看出, 3个不同的模型的估计结果存在明显的区别。但出于知识产权和商业机密的考虑, 商业巨灾模型的提供商很少披露建模的技术细节, 这就为不同模型表现的度量、比较和检验带来了很大的困难, 导致使用模型的保险公司和再保险公司可能面临模型选择和定价的困难, 同时也为巨灾保险的监管带来了挑战。

基于上述情况, 部分学者和实际工作者致力于研发开放源代码的巨灾风险评估模型, Porter K. and C. Scawthorn(2007)介绍了相关的研究和应用进展情况, 并给出了巨灾风险评估模型 OpenRisk 的软件的技术文档的规划和应用思路, 目前这方面的研究反映了巨灾风险评估模型应用领域最新进展。

4、评论及结束语

4.1 巨灾风险评估的理论模型

在理论研究中，一般假定巨灾事件的发生是一计数过程，每次巨灾发生时，巨灾损失的累积值将发生跳跃。即总的巨灾损失一般包含大量的单次较大的损失，仅运用布朗运动描述巨灾损失过程是不合适的，泊松过程在巨灾风险建模中得到了广泛的应用。目前，几何跃扩散过程（跳跃过程为泊松过程）和传统精算研究中广泛应用的复合泊松过程在巨灾风险建模中均得到了应用。一个自然的问题就是，上述模型哪一个“更好”？这需要有一个合理的模型评价标准；另外一个与之相关的问题是，泊松过程是否能充分刻画巨灾事件的发生？目前这方面的研究从理论到实证均还较少。

4.2 巨灾风险评估的实证研究

从已经收集到的文献来看，由于数据的限制，目前的巨灾风险的分布及相关参数估计的研究仍较少，且主要集中于巨灾事件的物理参数的估计和行业损失指数（如美国 PCS 指数）的估计研究。从已有研究结果看，巨灾事件的物理参数的随机波动具有重尾分布甚至极值分布特性(Cummins,1999, Zimbidis et al, 2007)；对于包含多种风险且描述的是总体保险行业损失的行业损失指数，其服从的随机分布的重尾特性并不十分突出，从分布拟合结果看，对数正态分布是行业损失指数的较好度量(Burnecki et al., 2000; Chernobail et al., 2006)。

4.2 巨灾风险评估的应用

由于巨灾事件的数据仍较少，目前在巨灾风险评估的实际应用来看，主要基于已有的实际数据，建立巨灾风险的评估模型并开发相应的软件，并运用大量级的随机模拟来估计巨灾损失。从实际应用来看，巨灾风险评估的随机模拟方法对于巨灾损失的估计提供了对于实际巨灾损失较好的近似。

上文介绍的巨灾损失建模的咨询服务公司如 AIR 国际公司、风险管理方案服务公司和 EQECAT 有限公司巨灾损失的随机模拟分析软件均包含中国巨灾风险评估模块，上述软件已经应用于中国保险行业的巨灾保险，如中国人保财产保险股份有限公司引入了 AIR 国际公司开发的软件，并运用该软件估计了四川汶川大地震的损失，取得了较好的效果。大型的国际再保险公司如瑞士再保险、苏黎世保险和慕尼黑再保险公司也开发了用于中国巨灾损失估计的软件。需要指出的是，由于知识产权问题，上述公司提供的软件的关键技术细节，特别是建模技术方面的信息是保密的，因此，对于巨灾模型的使用者和保险监管部门均存在一定的困难，中国有必要开发具有自主知识产权的巨灾风险评估模型和相应的软件，目前国际上方兴未艾的关于开放源代码的巨灾风险评估模型的研究为启动我国的巨灾风险评估模型研究提供了借鉴和契机。另一方面，巨灾风险的准确评估要求具备充分的历史数据积累，目前我还缺乏一个专业性的包括多种巨灾风险信息、可以用于巨灾风险评估的数据库，这方面需要国家相关部门通力合作。本文建议，从我国巨灾事件发生的实际出发，建立一个与美国 PCS 巨灾损失指数类似的包含多种巨灾风险的、分区域的巨灾损失指数的数据库，从而为中国巨灾风险的预防、评估和风险转移及相关管理提供科学的数据支持。

4.3 结束语

本文对巨灾风险评估进行了综述。目前巨灾风险评估的理论模型遵从经典的风险理论的假定，将巨灾损失描述为复合泊松过程，并引入金融和精算研究的相关成果，研究巨灾保险和再保险合同及巨灾风险的金融衍生产品的定价实证。巨灾风险评估的实证研究主要集中于对巨灾事件的物理参数和行业损失指数等数据可得的风险指标的分布特性进行估计和分

析。研究结果显示巨灾风险的物理参数呈现出较明显的重尾分布特征,行业损失指数由于涵盖了多家保险公司和多种巨灾风险,其重尾特征并不显著,可以运用对数正态分布进行拟合。在应用方面,基于随机模拟的巨灾风险评估的建模技术发展迅速,本文对该模型的基本模块构成和主要特点进行了介绍,并初步探讨了其在中国的应用及可能存在的问题。

参考文献

- [1]Aase, K. K., 1999, An Equilibrium Model of Catastrophe Insurance Futures and Spreads. *The Geneva Papers on Risk and Insurance Theory*, 24, 69-96.
- [2]Aase, K. K., 2001, A Markov Model for the Pricing of Catastrophe Insurance Futures and Spreads, *The Journal of Insurance Issues*, 68(1), 25-50.
- [3]Bakshi G. and D. Madan, 2002, Average Rate Claims with Emphasis on Catastrophe Loss Options, *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 37(1), 93- 115.
- [4]Burnecki K., Kukla G., Weron R., 2000, Property insurance loss distributions, *Physica A*, 287, 269-278.
- [5]Biagini F., Y. Bregman and T. Meyer-Brnids, 2008, Pricing of Catastrophe Insurance Options Written on a Loss Index with Reestimation, *Insurance: Mathematics and Economics*, 43,214-222.
- [6]Chang, C. W., J. S. K. Chang, M. T. Yu, 1996, Pricing Catastrophe Insurance Futures Call Spreads: A Randomized Operational Time Approach, *The Journal of Risk and Insurance*, 63,599-616.
- [7]Chang, C. W., J. S. K. Chang, W. L. Lu, 2008, Pricing Catastrophe Options: A Discrete Operational Time, *Insurance: Mathematics and Economics*, 43,422-430.
- [8]Chang F. L. and M. W. Hung, 2009, Analytical Valuation of Catastrophe Equity Options with Negative Exponential Jumps, *Insurance: Mathematics and Economics*, 44, 59-69.
- [9]Chernobail A. C., Burnecki K., Rachev S., Truck S. and Weron R., 2006, Modeling Catastrophe Claims with Left-truncated Severity Distributions, *Computational Statistics*, 21,3-4,537-555.
- [10]Christensen C. V. and H. Schmidli, 2000, Pricing Catastrophe Insurance Products Based on Actually Reported Claims, *Insurance: Mathematics and Economics*, 27, 189-200.
- [11]Cox H., J. Fairchild and H. Pedersen, 2004, Valuation of Structured Risk Management Products, *Insurance: Mathematics and Economics*, 34,259-272.
- [12]Cummins J. D. and H. German, 1995, Pricing Catastrophe Futures and Call Spreads: An arbitrage Approach, *Journal of Fixed Income*, 4, 46-57.
- [13]Cummins J. D., D. Lalonde and R. D. Phillips, 2004, The Basis Risk of Catastrophic-Loss Index Securities, *Journal of Financial Economics*, 71, 77-111.
- [14]Egami M. and V. R. Young, 2008, Indifference Prices of Structured Catastrophe(CAT) Bonds, *Insurance: Mathematics and Economics*, 42,771-778.
- [15]Geman H. and M. Yor, 1997, Stochastic Time Changes in Catastrophe Option Pricing, *Insurance: Mathematics and Economics*, 21,185-193.
- [16]Grossi P. and H. Kunreuther, 2005, *Catastrophe Modeling: A New Approach to Managing Risk*, Springer.
- [17]Jaimungal S. and T. Wang, 2006, Catastrophe Options with Stochastic Interest Rates and Compound Poisson Losses, *Insurance: Mathematics and Economics*, 38, 469-483.
- [18]Kau J. B. and D. C. Keenan, 1996, An Option-Theoretic Model of Catastrophes Applied to Mortgage Insurance, *The Journal of Risk and Insurance*, 63(4), 639-656
- [19]Kishi, N., 2007. Insurance Industry Perspectives. 1st International Workshop on Open-Source

- [20]Risk Software, California Institute of Technology; February 27th and 28th, 2007. www.risk-agera.org/downloads.html.
- [21]Lee J.-P. and M.-T. Yu, 2002, Pricing Default-Risky CAT Bonds with Moral Hazard and Basis Risk, *The Journal of Risk and Insurance*, 69, 25-44.
- [22]Lin S.-K., C.-C. Chang and M. R. Powers, 2009, The Valuation of Contingent Capital with Catastrophe Risks, *Insurance: Mathematics and Economics*, accepted manuscript.
- [23]Lin X. S. and T. Wang, 2008, Pricing Perpetual American Catastrophe Put Options: A Penalty Function Approach, *Insurance: Mathematics and Economics*, doi:10.1016/j.insmatheco.2008.04.002.
- [24]Litzenberger R. H., D. R. Beaglehole and C. E. Reynolds, 1996, Assessing Catastrophe Reinsurance-linked Securities as a New Asset Class, *Journal of Portfolio Management*, 23, 76-86.
- Porter K. and C. Scawthorn, 2007, OPENRISK: OPEN-SOURCE RISK SOFTWARE, ACCESS FOR THE INSURANCE INDUSTRY, working paper, <http://spot.colorado.edu/~porterka/Porter-2007-ICACI-OpenRisk.pdf>
- [25]Schradin H. R., 1996, PCS catastrophe insurance options-a new instrument for managing catastrophe risk, working paper, <http://www.actuaries.org/AFIR/colloquia/Nuernberg/Schradin.pdf>.
- [26]Swiss Re, 2003, 自然灾害与再保险. http://www.swissre.com/resources/9265320045ee85588155ad4b115b7532-KJAS-5U9LYQ_Publication.pdf,
- [27]Swiss Re, 2001, 保险业的资本市场创新. *Sigma*, 3.
- [28]Swiss Re, 2006, 证券化-保险公司和投资者的新机遇. *Sigma*, 7.
- [29]Vaugirard V. E., 2003, Pricing Catastrophe Bonds by an Arbitrage Approach, *The Quarterly of Economics and Finance*, 43, 119-132.
- [30]Zimbidis A. A., N. E. Frangos and A. A. Pantelous, 2007, Modeling earthquake Risk Via Extreme Value Theory and Pricing the respective Catastrophe Bonds, *ASTIN Bulletin*, 37(1), 163-183.

The Evaluation of Natural Catastrophe Risk: A Review

Abstract: The evaluation of catastrophe risk is an important aspect of the study of catastrophe risk, which is basis of pricing of catastrophe insurance contracts and financial instruments of catastrophe risk. In this paper the evolvement of the evaluation of catastrophe risk is reviewed and its application in China is briefly discussed.

Keywords: Natural catastrophe; Catastrophe risk; Catastrophe insurance;