

Insurability of Catastrophe Risk

Tian Ling¹, Xing Hongyang¹, Gao Jun²

¹ Economics and Management School, Wuhan University, Wuhan, China, 430072

² School of Economics and Management, Tsinghua University, Beijing, China, 100084

Abstract: In this paper, we discuss how the boundary of insurability for the catastrophe risk and give some advices to expand the boundary. Considering the facts of the decrease of catastrophe insurance relative to the increasing insurance market in the whole world, there are factors which have a negative influence on the insurance of catastrophe risk, such as ambiguity, low probability and large loss, hardness to pool the risk, constraints of solvency, the business targets and principles of the insurer, etc. To analysis the boundary of insurability for the catastrophe risk, we introduce the ruin theory and conclude that the boundary or the worst catastrophe risk to be insured is detremined by the premium loading, the insurer's financial solvency, as well as the risk aversion. To expand the bounbary of the insurability for catastrophe risk, we should lessen the ambiguity, strenthen the finacial ability, as well as reduce the loading rate.

Keywords: catastrophe riskst; insurability; ruin theory; bouday expansion for the insurability

I.引言

可保性是巨灾风险能否通过保险市场来转移的基础。一般来说,如果某种风险是不可保的,就意味着保险市场无法开发出能为保险公司所接受的保险产品来转移该风险;同时,对风险可保性特征进行分析,也是相关保险产品设计(包括承保条件、费率厘定、赔付约定以及其他相关条款)的基础。巨灾风险的可保性也就成为了巨灾保险的先决条件,研究巨灾风险的可保性也就显得尤为重要。

从国内外巨灾保险的现实情况来看,巨灾风险的可保性面临着严酷的现实考验。2002-2006年间,全球范围内巨灾平均承保率为35.1%,而2007-2011年则萎缩至26.8%。而我国的巨灾保险覆盖率则更低:1998年特大洪灾直接经济损失2484亿元,保险赔付33.5亿元;2008年汶川地震直接经济损失达8451亿元,而保险赔付仅18亿。很显然,在经历了安德鲁飓风所导致的15家财险公司破产后,从保险公司到政府,从业界到学术界,人们开始重新审视巨灾风险的可保性。那么,1)巨灾风险究竟具备可保性吗?或者说哪些风险具备可保性呢?2)巨灾风险的可保性的理论基础是什么呢?3)巨灾风险的可保性边界是什么?4)通过何种措施可以扩大巨灾风险的可保性边界呢?5)结合我国特殊的国情和保险市场发展状况,我们应该如何扩大巨灾风险的可保性边界,以发挥保险市场的在巨灾风险方面的优化配置功能呢?

对于第一个问题,本文从风险可保性的定义出发,总结和梳理现有关于风险可保性的相关研究,重新考察风险可保性的内涵和前提条件,并结合保险市场的发展,着力说明风险可保性的动态性特征。在此基础上,结合巨灾风险特征分析,重点分析巨灾风险的可保性所面临的一系列问题。对于第二和第三个问题,本文结合巨灾风险的特征,将风险可保性的理论基础—破产理论应用到巨灾风险的可保性分析上来,并利用相关的结论推演出巨灾风险的可保性边界。对于第四个问题,本文则结合现有研究,审视各种措施对巨灾风险可保性边界的拓展程度,以图为我国巨灾保险制度建设提供理论参考。

II.巨灾风险可保性的内涵

商业保险运行的一个基本范围是:只有在可保性范围内,保险业才能对风险进行风险聚集(Risk Pooling)和风险转移(Risk Transfer)(Borch, et al., 1990)。因此,发挥保险市场对风险的优化配置功能,我们首先需要对巨灾风险的可保性有一个全面综合的认识,包括:1、什么是可保性风险,可保性风险具有哪些先决条件?2、巨灾风险是可保的吗?

所谓可保性风险,指的是可被保险人所接受的风险,也即可以向保险人转移的风险(魏华林,林宝清,2006)。更具体地说,保险人在既定条件约束下,根据保险精算原理,将那些具有同质或相似风险汇集在一起,通过收取

合理保费筹措保险基金来为风险个体转移风险，并实现保险人的经营目标。满足保险人要求的这些同质风险即为可保风险。这些约束条件包括两个方面：一是保险人内部约束，包括其偿付能力、认知能力以及管理能力等；二是保险人外部约束，包括相关法律法规、行业（市场）规范以及政府监管等。

从这个定义出发可以发现，风险可保性的内涵包括三个方面：第一，风险可保性是从保险人的角度来定义的，即风险可保性的主体特征；¹第二，风险可保性与保险人所处的外部环境密切相关，尤其是相关制度与规范，即风险可保性的制度特征²；第三，风险可保性是动态变化的，即风险可保性的时间特征，由主体特征和制度特征的动态变化所决定的。主体特征是风险可保性的核心和基础，但风险可保性的动态性（时间特征）和社会性（制度特征）对巨灾风险的可保性特征都产生了重要的影响，这三个特征共同决定了风险可保性的两个先决条件：一是保险人的风险识别能力，指保险人能否预计风险发生的频度和强度；二是保险人能否对具体风险厘定费率（Giarini, 1995; Freeman and Kunreuther, 2003）。

然而，对于巨灾风险而言，巨灾风险本身的不可预测性很难满足风险可保性的第一个先决条件，而风险标的本身随机特征、保险人的偿付能力和管理能力等方面的局限性则限制了保险人的定价能力。

具体而言，巨灾风险至少存在着以下五个方面的问题影响其可保性：

1. 巨灾风险的模糊性。风险模糊性（ambiguity）指的是囿于认知能力，保险人无法度量风险发生的客观概率和损失分布。巨灾风险的模糊性尤为严重，是人们无法对巨灾保险定价的主要原因之一。但是，巨灾风险的模糊性并不必然导致巨灾风险是不可保的，原因有三：第一，随着科学技术水平的提高，人们对巨灾风险有了更深的理解，不断发展的巨灾

模型（Catastrophe Model）弱化了巨灾风险的模糊性（Grossi and Kunreuther, 2005）；第二，保险人对其保险产品进行定价时，往往依据的是主观概率来厘定费率；第三，只要保险人对风险模糊性厌恶程度（ambiguity aversion）低于投保人，那么偏好差异可能会致使模糊性风险可能是可保的（Giboa and Schmeidler, 1989; Kunreuther, et al., 1993）。

2. 巨灾风险的低概率和高损失。一般来说，风险事故发生的概率越低，其可保性越小，即可保性风险存在门槛概率(threshold probability)(Kunreuther, 1996)。然而，Eeckhoudt 和 Gollier(1996)和 Gollier(1997)则认为风险厌恶者更倾向于为低概率事件购买保险。巨灾风险事故发生的高损失是导致保险公司惧怕破产而不愿意提供巨灾保险产品的主要原因之一，也就是说，保险人对风险的厌恶产生了巨灾风险的可保性问题。但是，理论上来说，只要交易成本足够低、保险人的风险厌恶程度低于投保人，或者存在着完善的再保险市场和资本市场来转移或者分散风险，那么巨灾风险也可能是可保的。

3. 巨灾风险无法聚合。保险人之所以能够提供风险的一个主要原因在于其能够聚合足够多的同质独立风险标的，运用大数定理降低保险人经营的不确定性，从而能够厘定保险费率。然而，巨灾风险事故发生的低概率使得保险人无法聚合足够多的风险标的，无法运用大数定理厘定保险费率。不过通过巨灾风险跨区域分散（Jaffee, 2006; Cummins, 2006）、巨灾风险跨时分散和长期保险（Jaffee, et al, 2010; Kunreuther and Michel - Kerjan, 2009）等方法，可以有效提高风险事故发生的概率，削弱巨灾风险难以聚合对其可保性的不利影响。

4. 保险人的偿付能力/财务能力。根据精算破产理论，保险人的偿付能力(或者财务能力)是风险可保性边界的重要影响因素，保险人财务能力越强，在稳健经营原则下，其能够承保的风险范围就越广。由于集中、大范围以及正相关的损失，巨灾往往会导致保险人的巨额赔款支出，致使保险人现金流断裂甚至破产，因此也对保险人的财务能力（偿付能力）提出了更高的要求（石兴, 2011）。

5. 保险人的管理能力及经营原则。保险

¹ Courbage 和 Liedtke (2003) 从投保人的角度对可保风险进行了定义，即当一个消费者想要避免某一风险可能造成的损失时，且能够在私人保险市场中有效转移这一风险，那么该风险是可保的。实际上，该定义一个关键是保险市场能有效转移这一风险，与风险可保性的主体特征并无冲突。

² 当前我国在关于财产保险的法规中将巨灾列为保险公司的免责事项，这极大地影响了我国巨灾风险的可保性。

人管理能力及其经营原则对通过保费附加对风险可保性产生影响主要体现在对的影响上。首先，交易成本的增加会提高保费附加率；其次，保险人本身对风险的管理能力和偏好差异会导致不同的安全附加，同样会影响保费附加率。根据 Arrow(1965)和 Mossin (1968)，只要存在着保费附加，必然会导致不完全保险，保费附加越高，保险的免赔额就会越高。因此，高交易成本和保险人的风险厌恶可能会带来巨灾风险的可保性问题(Gollier, 1997)。此外，保险人越高的经营稳健性要求意味着越低破产概率，也会影响其对其承包范围。

上述五个方面的问题都会导致巨灾风险存在着较为严重的可保性问题，而且这五个因素并非孤立地对巨灾风险可保性产生影响，要分析和评估上述因素的综合影响，就需要理解巨灾风险可保性的理论基础，探索巨灾风险的可保性边界。

III. 巨灾风险可保性理论基础

保险人对某种风险承保的最低要求是尽可能地避免由于理赔支付而导致其资金链断裂，即尽量保证低的破产概率。一般来说，保险人先设定一个破产概率，然后选择具有以下特征的风险标的承保，这些风险标的的理赔支出可能导致保险人破产的概率低于其设定的破产概率，此即为保险人维持其稳定运营的最低要求。运用精算理论计算出巨灾风险的破产概率，那些破产概率等于保险人最高破产概率的巨灾风险便构成了巨灾风险可保性的边界。

在具体计算巨灾风险破产概率的时候，我们并不需要计算个体风险的破产概率，而是借鉴 Bühlmann (1985) 关于保费计算的上下 (top-down) 方法，着眼于整个保单组合必须的破产概率，即基于局和风险模型来计算巨灾风险的破产概率。这样的做的一个好处是我们无需考虑保险标的之间的相关性问题的，更有利于计算出保险人能够承保的巨灾风险的随机特征。

A. 保险人盈余过程

假设保险人的盈余过程如下

$$U_t = u + ct - S_t \quad (1)$$

其中，

U_t = 保险人在 t 时刻的资本金；

$u = U(0)$ = 保险人的初始资本金；

c = 单位时间的保费收入；

$S_t = \sum_{n=1}^{N_t} X_n$ = 保险人从初始时刻到 t 时刻的赔付总额，即 S_t 是一个复合分布；

N_t = 从初始时刻到 t 时刻巨灾发生的次数，在这里，我们假设其服从强度为 λ ($\lambda > 0$) 的泊松过程，即 N_t 的概率分布函数为

$$\Pr(N_t = k) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} \quad (2)$$

由(2)可知， $E(N_t) = \lambda t$ ，因此，我们也可以通过 λ 来表示巨灾的严重程度， λ 越小意味着巨灾越严重。譬如，百年一遇的巨灾可以意味着 $\lambda \times 100 = 1$ ，即 $\lambda = 0.01$ ，同样，五十年一遇的巨灾意味着 $\lambda = 0.02$ 。

X_n = 第 n 个理赔的赔付额，我们假设 X_n 服从参数为 γ ($\gamma > 0$) 的指数分布，即 X_n 的密度函数为

$$f(x) = \begin{cases} \gamma e^{-\gamma x}, & x \in [0, +\infty) \\ 0, & x \in (-\infty, 0) \end{cases} \quad (3)$$

由(3)可知，巨灾所导致的赔付额的期望值为

$$E(X) = \int_0^{\infty} x \gamma e^{-\gamma x} dx = 1/\gamma \quad (4)$$

一般来说，巨灾越严重，那么赔付额的期望值就越高，因此，我们可以认为 γ 是 λ 的函数，且有

$$\frac{\partial \gamma(\lambda)}{\partial \lambda} > 0 \quad (5)$$

保险人的保费收入 ct 由公平保费和安全附加保费组成，令安全附加比率为 π ，则有

$$\begin{aligned} ct &= (1 + \pi) E(S_t) = (1 + \pi) E[E(S_t | N_t)] \\ &= (1 + \pi) \sum_{k=1}^{\infty} E\left[\left(\sum_{n=1}^k X_n \mid N_t = k\right) \Pr(N_t = k)\right] \\ &= (1 + \pi) \sum_{k=1}^{\infty} k E(X) \Pr(N_t = k) \\ &= (1 + \pi) \lambda t / \gamma \end{aligned}$$

即

$$c = (1 + \pi) \lambda / \gamma \quad (6)$$

图 1 描述了上述巨灾所导致的保险人盈余过程的一个典型实现。随机变量 T_i 表示第 i 次巨灾发生的时刻。在没有巨灾时，保险人资本金以 c 单位的速度递增，即图 1 中各斜线的斜率为 c 。巨灾发生时，保险人的资本金则会因理赔支付而减少，减少额为理赔支付额。图 1 中，前三次巨灾所导致的理赔总额小于初始资本金与总保费收入之和，保险人仍处于稳定经营状态中。但第四次巨灾的发生使

$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 > u + cT_4$, 即 $U_{T_4} < 0$, 保险人破产。

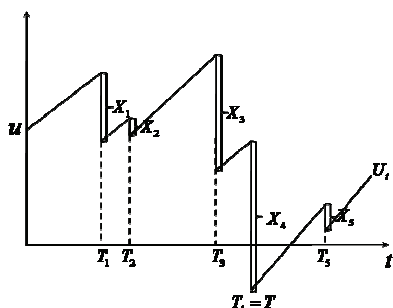


图 1. 保险人盈余过程 U_t 的一个实现形式

B. 调节系数 R 与破产概率 ψ

与其他盈利性机构一样, 保险人(这里指的是商业保险公司)以利润最大化为目标。但同时, 保险人还要确保其偿付能力以稳定经营和利润目标保障, 并要求这些指标偏离其预期值的概率低于某一水平, 即

$$\psi = \Pr[U_t < 0, t \in [0, \infty)] < q \quad (7)$$

为了计算破产概率 ψ , 破产理论引入了调节系数, 从而得出 ψ 的上界。根据 Lundberg 不等式, 可知破产概率的上界为³

$$\psi \leq e^{-Ru} \quad (8)$$

其中, R 为调节系数。实际上, R 也衡量了保险人的风险, 即 R 越大, 保险人的破产概率 ψ 越小。

根据破产理论, 调节系数 R 是以下关于 r 的方程的正数解⁴

$$\lambda + cr = \lambda M_X(r) \quad (9)$$

其中 $M_X(r)$ 为单次理赔额 X 的矩母函数。

结合式(3)、(6)和(9), 我们可得调节系数 R 为

$$R = \frac{\gamma\pi}{1 + \pi} \quad (10)$$

将式(10)代入式(8)可得破产概率满足

$$\psi \leq e^{-\gamma\pi u / (1 + \pi)} \quad (11)$$

由于破产概率 q 是保险人能忍受的最高破产概率, 因此, 我们可以将 $e^{-Ru} = q$ 作为巨灾

风险的可保性边界⁵, 那些致使 $e^{-Ru} \geq q$ 的巨灾风险都是不可保风险, 而那些满足 $e^{-Ru} < q$ 的风险则是可保风险。由于结合式(10), 我们可以将巨灾风险的可保性边界 $\underline{\lambda}$ 表述为

$$\gamma(\underline{\lambda}) = \left(1 + \frac{1}{\pi}\right) \times \frac{1}{u} \times (-\ln q) \quad (12)$$

巨灾风险可保性集合 Φ 为

$$\Phi = \{\lambda : \lambda > \underline{\lambda}\} \quad (13)$$

式(13)表明, 巨灾风险的可保性边界 ($\underline{\lambda}$) 越小, 保险人可以承保的巨灾风险的范围就越大。根据式(5)和(12), 巨灾风险的可保性边界受保费附加 π 、保险人初始资本金 u 及其能忍受的最高破产概率 q 等因素的影响: 保费附加越高、保险人初始资本金 u 越大、保险人能忍受的最高破产概率 q 越高, 则巨灾风险的可保性边界 $\underline{\lambda}$ 越小, 保险人能承保的巨灾风险的范围就越大。

IV. 巨灾风险可保性边界的拓展: 政策与建议

按照可保性边界的分析, 结合文中第二部分关于影响巨灾风险可保性因素的分析, 我们可以采取一系列的措施来拓展巨灾风险的可保性边界。

在我们关于巨灾风险边界的分析中, 忽略掉了一个至关重要的问题: 我们假定巨灾风险是可测的, 即 λ 和 $\gamma(\lambda)$ 是事先知道的。但一个现实的问题是, 我们无法确切地获知 λ 的具体数值和 $\gamma(\lambda)$ 的具体形式, 即存在着风险模糊性。在前面的分析中, 我们认为 γ 会随着衡量巨灾风险程度的参数 λ 的增加而增加。但是, γ 还与风险标的的抗灾能力和经济总量和分布状况密切相关: 风险标的的抗灾能力越强, 巨灾期望损失越小, γ 就越大; 经济发展水平越高, 经济总量越大、在地理上越集中, 巨灾期望损失越大。因此, 通过加深对巨灾的认识、强化风险标的的抗灾性以及优化经济资源在地里上的分布都有助于保险人扩大巨灾风险的承保范围。此外, 根据 Giboa 和 Schmeidler (1989), 甄别出保险人和投保人之间的风险模糊性厌恶差异也有助于扩大巨灾风险的承保范围。

根据式(13)拓展巨灾风险的承保范围的关键在于如何降低其可保性边界 $\underline{\lambda}$ 。而根据式(12), 提高安全附加 π 和初始资本金 u 均能有

³ Lundberg 不等式的证明具体请参考相关文献, 譬如, Modern Actuarial Risk Theory (Kaas, et al., 2001)。

⁴ 具体证明请参 Insurance Risk and Ruin (Dickson, 2005)。

⁵ 实际上, 破产理论表明, 当初始资本金 u 越大, ψ 就越趋近 e^{-Ru} , 在实务中 e^{-Ru} 被当做破产概率的近似值。

效降低 λ 。

提高安全附加 π 是把双刃剑：一方面安全附加的提高必然会增强保险人的偿付能力，提高巨灾风险的承保范围；另一方面，安全附加的提高势必会导致保费的增加，即风险价格的提高，价格的提高势必会降低投保人的购买意愿，压抑巨灾保险的需求。因此，一个较为合理的方案是公共财政给予巨灾保险保费补贴，这样既不会削弱投保人购买巨灾保险的意愿，同时会增强保险人的偿付能力，扩大了巨灾风险的可保性边界。

同时，降低交易成本也可以扩大巨灾风险的可保性范围。降低交易成本从另外一个角度上来说也可以说是提高了保险人的保费收入，类似于提高了保费附加 π ，扩大了巨灾风险的可保性边界和保险人对巨灾风险的承保范围。

通过提高初始资本金 u 实际上是与保险人的偿付能力紧密结合在一起的。从图 1 中可以看出，虽然保险人在 T_4 时刻破产了，但是在 T_5 时刻其资本盈余则是正的，这就意味着只要保险人有丰富的融资渠道，放松保险人的资本约束均可以拓展巨灾风险的可保性边界，譬如建立巨灾债券来为保险公司融资就可以切实有效地扩大保险人的承保范围。

此外，通过再保险以及设计出合理的保险契约也能扩大保险人的承保范围。通过再保险将巨灾风险部分转移给再保险公司，或者采取分保或共保的方式均能有效地降低巨灾给保险人带来的期望损失，类似于提高了 λ ，能实际有效地扩大保险人的承保范围。

References

- [1] Arrow, K. J., "Uncertainty and the welfare economics of medical care: reply (the implications of transaction costs and adjustment lags)", *The American Economic Review*, 1965, 55(1/2), 154—158.
- [2] Bühlmann, "premium calculation from top down", *ASTIN Bulletin*, 1985, (15), 89—101.
- [3] Courbage, C. and P. M. Liedtke, "On insurability, its limits and extensions", *Insurance research and practice*, 2003, 18(2), 44—49.
- [4] Cummins, J. D., "Should the government provide insurance for catastrophes?", *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 2006, 88(4), 337—379.
- [5] Dickson, D. C. M., *Insurance Risk and Ruin*. Cambridge University Press, 2005.
- [6] Eeckhoudt, L., C. Gollier and H. Schlesinger, "Changes in background risk and risk taking behavior", *Econometrica*, 1996, 64(3), 683—689.
- [7] Freeman, P. K. and H. C. Kunreuther, "Insurability and Environmental Risks", *The Law and Economics of the Environment*, Edward Elgar, 2003.
- [8] Giarini, O., "Insurability and the economic relevance of insurance: a historical economic perspective", *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, 1995, (77).
- [9] Gilboa, I. and D. Schmeidler, "Maxmin expected utility with non-unique prior", *Journal of mathematical economics*, 1989, 18(2), 141—153.
- [10] Gollier, C., "About the insurability of catastrophic risks", *Geneva Papers on Risk and Insurance*, 1997, 83177—186.
- [11] Grossi, P. and C. C. Patel, *Catastrophe modeling: A new approach to managing risk*. Springer Verlag, 2005.
- [12] Jaffee, D. M., "WHY DO PRIVATE MARKETS FOR CATASTROPHE INSURANCE FAIL?", *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 2006, 88(4), 381—385.
- [13] Jaffee, D., H. Kunreuther and E. Michel-Kerjan, "Long-Term Property Insurance", *Journal of Insurance Regulation*, 2010, 29(07), 167—187.
- [14] Kass, R., M. Goovaerts, J. Dhaene and M. Denuit, *Modern Actuarial Risk Theory*. Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [15] Kunreuther, H., "Mitigating disaster losses through insurance", *Journal of risk and Uncertainty*, 1996, 12(2), 171—187.
- [16] Kunreuther, H., E. J. Johnson, J. Hershey and J. Meszaros, "Framing, probability distortions, and insurance decisions", *Journal of risk and uncertainty*, 1993, 7(1), 35—51.
- [17] Kunreuther, H. and E. Michel-Kerjan, *At war with the weather: Managing large-scale risks in a new era of catastrophes*. The MIT Press, 2009.
- [18] Mossin, J., "Aspects of rational insurance purchasing", *The Journal of Political Economy*, 1968, 76(4), 553—568.
- [19] Borch, K.H., Aase, K.K., and Sandmo, A., *Economics of Insurance*, the North-Holland Press, 1999.
- [20] Shi, Xing, "The optimization of insurability for the catastrophe risks", *China Insurance*, 2011, 12, 8-18.
- 石兴, "自然灾害巨灾风险可保性之优化研究", 《中国保险》, 2011年第12期, 第8—18页。
- [21] Wei, Hualin and Lin, Baoqing, *The Insurance*, China Higher Education Press, 2006.
- 魏华林、林宝清, 《保险学》。高等教育出版社, 2006年。

巨灾风险的可保性问题研究

田玲¹, 邢宏洋¹, 高俊²

¹经济与管理学院, 武汉大学, 武汉, 中国, 430072

²经济管理学院, 清华大学, 北京, 中国, 100084

摘要: 本文以近年来巨灾保险相对萎缩的现实为背景, 通过界定风险可保性来分析巨灾风险的可保性内涵以及影响巨灾风险可保性的因素。在此基础上, 本文基于破产理论找出了巨灾风险的可保性边界, 并给出了拓展巨灾风险可保性边界的政策建议。本文认为, 巨灾风险的模糊性、低频高损失、难以聚合以及保险人的偿付能力、管理能力和经营目标等因素都可能影响巨灾风险的可保性。具体而言, 巨灾风险的可保性边界主要由保险人的初始资本金和保费附加共同决定, 初始资本金越大、保费附加越高, 巨灾风险的可保性边界就越宽, 保险人的承保范围就越大。因此, 本文认为, 通过增强风险标的的抗灾能力、提高保险人对巨灾风险认识、提高保险人的偿付能力、降低交易成本、对巨灾保险进行保费补贴、通过再保险市场转移风险、分保、共保、以及通过资本市场对巨灾风险进行融资均有助于扩大巨灾风险的可保性范围。

关键词: 巨灾风险; 可保性; 破产理论; 可保性边界拓展