

摘要

巨灾包括自然灾害和人为灾害，本文的研究内容针对的是只包括地震和洪水在内的自然灾害。近年来，自然灾害给人们的生命安全和财产安全都带来了愈加严重的威胁，因此针对自然灾害风险建立全面稳固的风险保障体系，探索创新有效的风险分摊方法的任务迫在眉睫。当前，我国已在国内部分地区试点自然灾害保险，并初步建立了试点地区的自然灾害保险基金。然而，和世界上发达国家的自然灾害风险保障体系相比，我国的自然灾害风险保障体系仍然是不完善的。为完善我国的自然灾害风险保障体系，本文希望从自然灾害保险基金的角度出发提出一些有用的结论和建议。论文的主要思路是将最优再保险领域的数学推导理论成果应用于自然灾害保险基金的模型构建，在一定的假设下基于随机模拟数据对自然灾害保险基金估算，分析总结各参数对基金的影响规律，预测未来五年的自然灾害保险基金数额。

本文首先介绍了美国和日本的自然灾害保险体系，在借鉴发达国家的经验的基础上，论述了自然灾害保险基金的主体结构、分类、运行机制。然后本文对目前国内提出的两种自然灾害保险基金模型进行了介绍，并把田玲和姚鹏（2013）提出的基于 VAR 准则的自然灾害保险基金模型作为本文模型的基础。在基于 VAR 准则的自然灾害保险基金模型的基础上，本文引入 Yichun Chi 和 Ken Seng Tan（2013）关于最优再保险分出函数的结论，构建了基于 PH-VAR 准则的自然灾害保险基金模型。基于我国 1980—2021 年间地震和洪水的经济损失数据，本文对历史数据做了统计分析。基于随机模拟数据，本文分析了各参数对自然灾害保险基金的影响规律并估算了未来五年的自然灾害保险基金。本文的主要结论如下：（1）再保险人的风险厌恶度 β 越高，自然灾害保险基金的数额越大；（2）再保险费中的附加成本因子 ρ 越高，自然灾害保险基金的数额越大；（3）在一定的参数假设条件下，存在一个最优的保险人的风险容忍度 α ，且 α 是影响基金数量的一个非常敏感的因素；（4） ρ 增加，则 β 对自然灾害保险基金的影响程度增加； β 增加，则 ρ 对自然灾害保险基金的影响程度也会增加； ρ 、 β 增加，则 α 对自然灾害

保险基金的影响程度减少； α 增加，则 ρ 、 β 对自然灾害保险基金的影响程度也会减少；（5）在一定的参数假设下，基金的置信水平为 5% 时，2022 年应提取的自然灾害保险基金为 37.62186（十亿元），即保险人的总风险有 95% 的概率在 37.62186（十亿元）以内。

本文的创新点主要在于：（1）在自然灾害保险基金模型构建方面，本文引用的最优再保险理论（Yichun Chi, 2013）目前尚未被学者引入自然灾害保险基金的模型构建。Yichun Chi（2013）的结论是基于广义保费准则和广义风险度量指标的假设，意味着本文构建的自然灾害保险基金模型更具有稳健性。（2）本文分析了各参数对基金的影响规律，为自然灾害保险基金的实践过程提供了更全面更有效的建议。

【关键词】 自然灾害保险基金；最优再保险理论；PH 保费；VAR 准则

Abstract

Catastrophes include natural and man-made disasters, and the research in this paper targets natural disasters that include only earthquakes and floods. In recent years, natural disasters have brought more and more serious threats to people's life safety and property safety, so it is urgent to establish a comprehensive and stable risk protection system for natural disaster risks and explore innovative and effective risk sharing methods. At present, China has piloted natural disaster insurance in some parts of the country, and has initially established natural disaster insurance funds in pilot areas. However, compared with the natural disaster risk guarantee system of developed countries in the world, China's natural disaster risk guarantee system is still imperfect. In order to improve China's natural disaster risk guarantee system, this paper hopes to put forward some useful conclusions and suggestions from the perspective of natural disaster insurance fund. The main idea of this paper is to apply the mathematical derivation theoretical results in the field of optimal reinsurance to the model construction of natural disaster insurance fund, estimate the natural disaster insurance fund based on random simulation data under certain assumptions, analyze and summarize the influence of various parameters on the fund, and predict the amount of natural disaster insurance fund in the next five years.

This paper first introduces the natural disaster insurance systems of the United States and Japan, and discusses the main structure, classification and operation mechanism of natural disaster insurance funds on the basis of learning from the experience of developed countries. Then, this paper introduces the two natural disaster insurance fund models proposed in China, and takes the natural disaster insurance fund model based on VAR criteria proposed by Tian Ling and Yao Peng (2013) as the basis for this model. Based on the natural disaster insurance fund model based on the VAR criterion, this paper introduces the conclusion of Yichun Chi and Ken Seng Tan (2013) on the optimal reinsurance cession function, and constructs the natural disaster insurance fund model based on the PH-VAR criterion. Based on the economic loss data of earthquakes and floods in China from 1980 to 2021, this paper analyzes the historical data. Based on the stochastic simulation data, this paper analyzes the influence of various parameters on the natural disaster insurance fund and estimates the natural disaster insurance fund in the next five years. The main con

clusions of this paper are as follows: (1) the higher the risk aversion of the reinsurer, the larger the amount of the natural disaster insurance fund; (2) the higher the additional cost factor in the reinsurance premium, the larger the amount of the natural disaster insurance fund; (3) under certain parameter assumptions, there is an optimal risk tolerance of the insurer, which is a very sensitive factor affecting the number of funds; (4) the increase increases the degree of impact on the natural disaster insurance fund; If it increases, the impact on the natural disaster insurance fund will also increase; , increase, the degree of impact on the natural disaster insurance fund is reduced; (5) Under certain parameter assumptions, when the confidence level of the fund is 5%, the natural disaster insurance fund that should be withdrawn in 2022 is 37.62186 (billion yuan), that is, the total risk of the insurer has a 95% probability of being within 37.62186 (billion yuan).

The innovation points of this paper mainly lie in: (1) In the construction of natural disaster insurance fund model, the optimal reinsurance theory (Yichun Chi, 2013) cited in this paper has not yet been introduced by scholars into the model construction of natural disaster insurance fund. Yichun Chi (2013) concludes that it is based on the assumption of the broad premium criterion and the broad risk measure, which means that the natural disaster insurance fund model constructed in this paper is more robust. (2) This paper analyzes the influence of various parameters on the fund, and provides more comprehensive and effective suggestions for the practice process of natural disaster insurance fund.

【Key words】 Natural Disaster Insurance Fund; optimal reinsurance theory; PH premiums; VAR guidelines

目录

1.绪论	1
1.1 选题背景与研究意义	1
1.1.1 选题背景	1
1.1.2 研究意义	6
1.2 文献综述	7
1.2.1 自然灾害保险基金的测算	7
1.2.2 最优再保险	9
1.2.3 扭曲保费	11
1.2.4 基于行业损失建立巨灾再保险的必要性	11
1.3 研究内容与方法	13
1.3.1 研究内容	13
1.3.2 研究方法	14
1.4 论文的创新点与不足	15
2. 自然灾害保险基金概述	16
2.1 美国、日本的自然灾害保险管理体系	16
2.1.1 美国国家洪水保险计划(NFIP)	16
2.1.2 美国佛罗里达州飓风保险计划	17
2.1.3 日本地震保险计划	17
2.2 我国自然灾害保险基金方案构想	18
2.2.1 自然灾害保险基金的参与主体	18
2.2.2 自然灾害保险基金的分类	20
2.2.3 自然灾害保险基金的运行机制	21
2.3 本章小结	22
3.自然灾害保险基金模型构建	23
3.1 自然灾害保险基金模型构建流程	23
3.2 自然灾害保险基金模型介绍	25
3.2.1 我国试点地区提取自然灾害保险基金的办法	25
3.2.2 基于保险行业最大承保能力的自然灾害保险基金模型	25
3.2.3 基于 VAR、CVAR 准则下的自然灾害保险基金模型	27
3.3 基于 PH-VAR 准则下的自然灾害保险基金模型	28
3.3.1 基于王氏保费和 VAR 准则下的最优再保险分出函数	28
3.3.2 基于 PH-VAR 准则下的最优再保险分出函数	29
3.3.3 基于 PH-VAR 准则下的自然灾害保险基金模型的公式推导	33
3.4 本章小结	34
4. 自然灾害保险基金的实证研究	35
4.1 样本数据选取	35

4.2 我国自然灾害损失数据的统计特征描述	36
4.3 我国自然灾害损失分布的拟合	41
4.3.1 Gamma 分布	41
4.3.2 威布尔分布	42
4.3.3 对数正态分布	43
4.4 自然灾害发生频数分布的拟合	47
4.5 基于 PH-VAR 准则下的自然灾害保险基金估计	48
5. 研究结论及政策建议	63
5.1 研究结论	63
5.2 政策建议	67
参考文献	69
致谢	73

1.绪论

1.1 选题背景与研究意义

1.1.1 选题背景

巨灾包括自然灾害和人为灾害，本文的研究内容针对的是自然灾害。近年来，自然灾害频频发生，灾害类型复杂多样，给人们带来了不可估量的损失。为了对我国自然灾害损失的历史数据做一个简要的分析阐述，本文选取我国 1980-2021 年期间发生的地震和洪水灾害的每年的自然灾害发生次数、每年的自然灾害损失、每年的自然灾害灾损率、每年的 GDP 和自然灾害损失的增长率四个指标进行说明。需要补充说明的是，本文的数据来源于 EM-DAT 数据库，该数据库汇总的自然灾害需满足一定的条件，即或是报道有 10 人及以上的人口因灾死亡或是报道有 100 人及以上的人口收到灾害影响或是政府针对灾害事件宣布过国家处于紧急状态或请求过国际援助。局限于该条件约束，本文选取的数据的数量比真实发生的自然灾害的次数少。以下如若不做特别说明，自然灾害指的是地震和洪水，即每年的自然灾害次数等于每年的地震发生次数加上每年的洪水发生次数，其他指标同理。以下数据均已剔除汇率和通货膨胀率的影响。首先，我国 1980-2021 年每年的自然灾害发生次数的统计图如下所示：

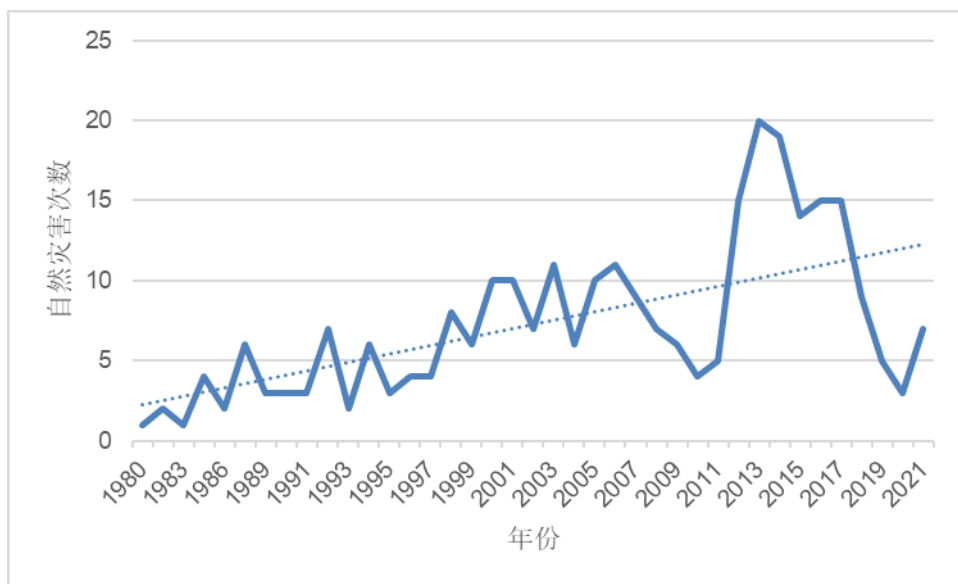


图 1.1 自然灾害发生次数的变化趋势

图 1.1 中的虚线表示整体趋势，从整体趋势来看，1980-2021 年，我国每年的自然灾害发生次数呈明显的增长趋势。1980-1990 年，我国每年发生自然灾害的次数在 0-6 范围内波动，且整体呈现上升趋势。1990-2000 年，我国每年发生自然灾害的次数在 2-10 范围内波动，波动范围比前十年更大，且年平均发生次数比前十年大。2000-2010 年，我国每年发生自然灾害的次数在 4-12 范围内波动，与 1990-2000 年间相比，年平均发生次数更高。2010-2021 年，我国每年发生自然灾害的次数在 2-20 范围内波动，波动幅度较大，且波动范围更大，意味着过去十一年期间，我国自然灾害发生次数不仅越来越多，且越来越不稳定。我国 1980-2021 年每年的自然灾害损失的统计图如下所示：

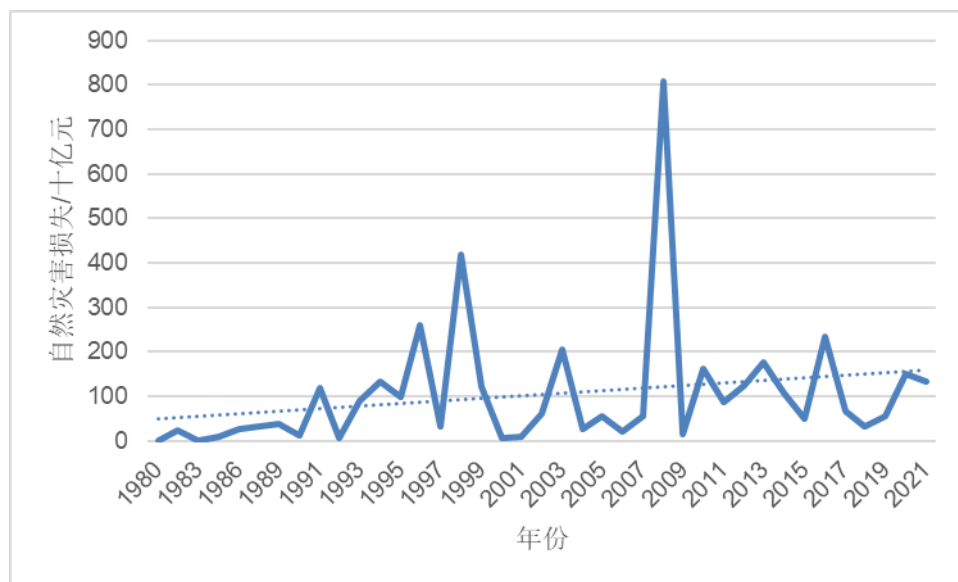


图 1.2 自然灾害损失变化趋势

图 1.2 中的虚线表示整体趋势，从整体趋势来看，1980-2021 年，我国每年的自然灾害损失呈现增长趋势。1980-1990 年，我国每年的自然灾害损失在 0-500 亿元的范围内波动。1990-2000 年，我国每年的自然灾害损失在 0-4000 亿元的范围内波动，波动幅度较前十年更大，波动范围较前十年也更大，年平均发生损失高于前十年的年平均发生损失。2000-2010 年，我国每年的自然灾害损失在 0-8000 亿元的范围内波动，因为 2008 年汶川地震的原因，这十年的自然灾害损失波动幅度更大，波动范围也更大。若把代表汶川地震的数据点剔除，2000-2010 年间每年的自然灾害损失的波动范围和波动幅度比 1990-2000 年的更小一些，年平均损失也更低，但与 1980-1990 年的相比，每年的自然灾害损失的波动范围、波动幅度和年平均损失都更高。2010-2021 年，我国每年的自然灾害损失在 0-2500 亿元的范围内波动，每年的自然灾害损失的波动幅度、波动范围、年均发生损失与前二十年相比都更低，但与 1980-1990 年相比都更高。以上信息说明我国每年的自然灾害损失波动较不稳定，且年均发生损失越来越高。我国 1980-2021 年每年的自然灾害损失率的统计图如下所示：

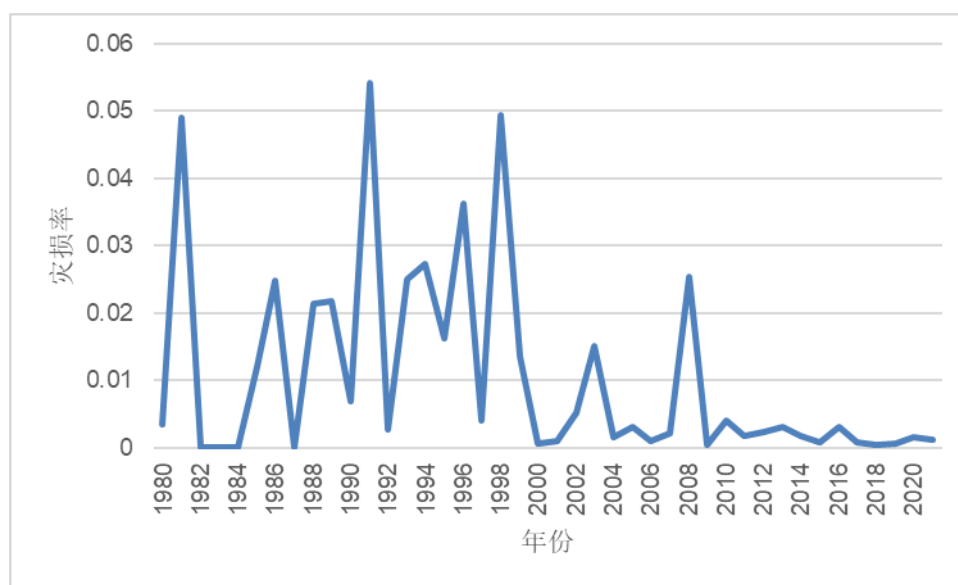


图 1.3 自然灾害灾损率变化趋势

林毓铭（2014）指出当灾损率（年度灾害经济损失与国内生产总值的比值）小于 2% 时，该年份发生的自然灾害对国民经济产生的影响比较轻微，当灾损率大于 2%，低于 5% 时，该年份发生的自然灾害会对国民经济产生一定的影响，当灾损率大于 5% 时，该年份发生的自然灾害对市场物价和经济发展产生的影响则比较明显。如图 1.3 所示，1980-1990 年，灾损率在 0-0.05 之间波动，有一半左右的数据点在 0.02-0.05 之间波动，说明 1980-1990 年间的自然灾害对国民经济产生了一定的影响。1990-2000 年，灾损率在 0-0.06 之间波动，且年平均灾损率高于前十年的年平均灾损率，说明 1990-2000 年发生的自然灾害对国民经济产生的影响高于前十年发生的自然灾害对国民经济的影响。2000-2010 年，灾损率在 0-0.03 之间波动，年平均灾损率低于前二十年的年平均灾损率；2010-2021 年，灾损率在 0-0.01 之间波动，年平均灾损率低于前三十年的年平均灾损率。说明近二十年来，我国发生的自然灾害对国民经济的影响逐渐降低，这主要来源于我国近二十年来的经济快速发展。虽然，我国的灾损率呈现的是逐年降低趋势，但并不意味着就可以忽视自然灾害保险体系的建设，相反正说明了在前期我国经济实力不足，政府需要把更多的资源放到经济发展上，巨灾风险管理体系的构建不被重视，但现在我国已有足够的经济条件去着手建立巨灾风险管理体系，故本文的研究内

容符合我国国情发展。我国 1980-2021 年国内生产总值和自然灾害损失增长率的统计图如下所示：

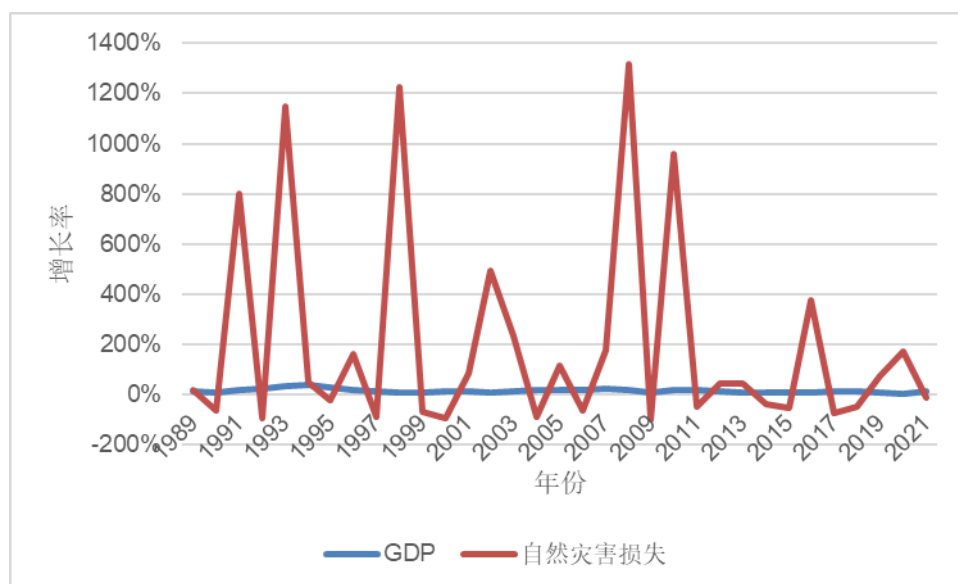


图 1.4 国内生产总值和自然灾害损失增长率的变化趋势

因为 1980-1989 年间，有些年份的自然灾害损失为 0，所以剔除掉自然灾害损失为 0 的年份，图 1.4 中展示了 1989-2021 年间 GDP 和自然灾害损失增长率的变化趋势。整体而言，我国自然灾害损失的增长率远高于我国 GDP 的增长率，且波动幅度也更大。说明自然灾害损失的变化极不稳定，发生超级巨灾给人们带来致命性损失的可能性仍然是存在的。

通过以上分析可知，自然灾害给人们带来的损失逐年递增且波动性大，对国民经济产生了一定的影响。为了给受灾地区的人们提供足够的经济补偿，帮助其灾后实现经济恢复，建立完善的自然灾害保险体系是十分必要的。然而，我国在重大自然灾害风险管理模式上实行的仍然是由国家财政支持为主，社会捐款和保险赔付为辅的救助模式，管理方式比较单一。从发达国家的经验来看，自然灾害保险是管理自然灾害风险的主要方式，比如说比利时政府建立了包含地震、洪水、山体滑坡在内的中小型火灾强制保险；法国政府建立的再保险公司（CCR）对洪水和地震保险进行再保险；挪威政府规定财产保险必须涵盖自然灾害，并且成立保险池提供再保险；日本政府成立的地震再保险公司（JER）为地震和火山爆发提供巨灾再保险，JER 也会再

将部分自己的责任转分保给商业保险市场；中国台湾 2002 年成立了居民地震保险，为火灾险和家财险强制附加的地震风险提供保障。当然，我国近年来也逐步出台了相关文件，支持巨灾保险体系的建设，比如说，2013 年出台的《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》明确提出“完善保险经济补偿机制，建立巨灾保险制度”；2014 年出台的《国务院关于加快发展现代保险服务业的若干意见》中提出“建立巨灾保险制度；2016 年出台的《中国保险业发展“十三五”规划纲要》中提出“研究建立地震巨灾保险基金，研究建立覆盖洪水、台风等多灾因巨灾保险制度”；2016 年出台的《建立城乡居住住宅地震巨灾保险制度实施方案》中提出建立“地震巨灾保险专项准备金”。实践上，我国也在云南、四川、深圳、宁波、楚雄等地先后开展自然灾害保险的试点。总的来说，我国的自然灾害保险体系的建设已经取得了一定的成果，为整个国家和社会的经济稳定提供了一定的保障。但客观来说，我国的自然灾害保险体系还需要进一步的完善，为人们提供更加有力全面的保障。比如说再保险机制的完善，自然灾害保险基金的科学估算等都是我国的自然灾害保险体系应该努力完善的方面。因此本文选择自然灾害保险基金为研究对象，希望可以为我国的自然灾害保险体系的建设提供一点有用的建议。

1.1.2 研究意义

理论意义：目前学界关于自然灾害保险基金的研究大多探讨建立自然灾害保险基金的必要性和如何完善自然灾害保险基金的体制建设，针对自然灾害保险基金测算的实证研究相对较少，所以本文在一定程度上完善了自然灾害保险基金实证领域的不足。其次，截止目前为止，还没有人将 Yichun Chi 和 Ken Seng Tan (2013) 提出的基于广义扭曲保费和广义风险度量指标假设下的最优再保险理论应用于自然灾害保险基金模型的构建，因此本文拓展了一个新的自然灾害保险基金模型。另外，就国内而言，首次应用 PH 保费建立自然灾害保险基金模型也是本文贡献的理论意义之一。

现实意义：首先，建立自然灾害保险基金本身是完善自然灾害保险体系中一个非常重要的环节，因此研究自然灾害保险基金可以帮助建立完善我国

的自然灾害保险体系。其次，建立自然灾害保险基金最初的目的是为了保障人们在遭遇自然灾害后的经济恢复，所以研究自然灾害保险基金可以帮助整个国家和社会建立充分有效的风险缓冲器，保障人们的生活水平。最后，建立自然灾害保险基金有助于，将传统的财政支持为主的灾害救助模式转化为财政支持和保险赔付共同作用的救助模式，有助于减轻政府的财政负担。

1.2 文献综述

1.2.1 自然灾害保险基金的测算

本小节将对国内外关于自然灾害保险基金的实证研究做一个梳理，整理不同学者建立自然灾害保险基金模型的思路，并进一步确定本文要借鉴的模式。1996年，Christopher M. Lewis 和 Kevin C. Murdock 提出一种基于行业损失的巨灾超赔再保险，1999年，J. David Cummins 和 Christopher M. Lewis 基于 Christopher M. Lewis 和 Kevin C. Murdock (1996) 提出的理论，计算出起赔点为 250 亿美元、赔偿上限为 500 亿美元的假设下，再保费为 3.7 亿美元，若巨灾保险基金的角色是充当再保险人，则每年需要筹集 3.7 亿美元的资金。刘甲子 (2011) 将重尾分布破产论模型应用于对巨灾基金研究，通过对实际数据的拟合计算出我国地震保险基金的初始规模、分红壁垒、期望收益现值等重要数量指标，并用随机模拟验证了计算结果的有效性。2013年，田玲和彭菁翌在 Cummins et al (2002) 提出的有关财险市场最大承保能力结论的基础上，构建巨灾保险基金规模模型，模型中假设巨灾保险基金等于保险人的条件最大可能损失减去保险人的最大承保能力，并通过实证分析得出联合多种自然灾害建立基金的数额小于对各种自然灾害单独建立基金的数额之和，最后计算出当保险人的承保比例为 40% 时，联合巨灾保险基金的规模为 289.22 亿元。田玲和姚鹏 (2013) 将最优再保险理论（均值保费准则和最小化保险人总风险的条件在险价值的假设下）应用于地震保险基金的模型构建，该模型中地震保险基金等于保险人总风险的在险价值，得出结论当风险容忍度等于 99.5%，附加费率为 0% 时，地震保险基金为 216 亿元。田玲 (2016) 等将方差保费准则和最小化保险人的风险度量指标

假设下的最优再保险理论应用于地震保险基金的模型构建,该模型中地震保险基金等于保险人总风险的条件在险价值,计算出当免赔额为 1000 万元,赔偿上限为 10 亿元,附加成本因子为 10%,置信水平为 10%时,基金数额为 282.69 亿元。朱张婷等(2016)借鉴了田玲和彭菁翌(2013)的结论,模型中假设巨灾保险基金等于保险人的条件最大可能损失减去保险人的最大承保能力,计算出当巨灾保险承保比例为 100%,风险忍受度为 0.01 时,巨灾保险基金的规模为 7103.861 亿元,占 GDP 比重 1%;风险忍受度为 0.001 时,巨灾保险基金的规模为 86166.559 亿元,该结果显著高于其他文献的结果的原因是该文献数据覆盖的灾害范围较广,包括地震、洪水、滑坡、野火、雪灾等。孟生旺和李政宵(2018)建立了在我国的地震灾害中死亡的人数的预测模型,测算了我国地震死亡保险基金的规模,指出当保险期限为 5 年时,如果保险基金规模为 182.65 亿元,则有 99%的可靠性足以支付未来的地震死亡保险金,如果保险基金的规模为 207.81 亿元,则有 99.5%的可靠性足以支付未来的地震死亡保险金。杨亮(2021)借鉴田玲和姚鹏(2013)和田玲(2013)的结论,模型中假设巨灾保险基金等于保险人的最大可能损失减去保险人的最大承保能力,并引用了期望保费准则和最小化保险人总风险的在险价值约束条件下的最优再保险理论,计算出承保比例为 20%,风险容忍度为 1%时,2021 年巨灾保险基金应提取 2350 亿元,该结果显著高于其他文献的结果的原因也是因为覆盖的灾害种类比较多。通过对以上文献的梳理,可知国内关于自然灾害保险基金模型建立的思路有很多种。本文将借鉴田玲和姚鹏(2013)的建模思路,将广义扭曲保费准则和最小化保险人总风险的广义风险度量指标的假设下的最优再保险理论应用于自然灾害保险基金的模型构建,模型中自然灾害保险基金等于保险人总风险的在险价值。

在上述文献中,自然灾害损失分布通常假设为比较常规的分布,比如对数正态分布,但有文献在精确化自然灾害损失分布的条件下计算自然灾害损失的在险价值,一定程度上也可以为自然灾害保险基金的估算提供参考。虽然为了简化模型理论推导,本文仍然假设自然灾害损失服从对数正态分布,但在此依然对此类文献做一个梳理,希望可以为其他人提供一些参考。欧阳资生(2011)引入负二项分布作为保单组合的索赔次数的分布,全 Paretian 分布作为索赔额的分布,计算得出丹麦的火灾最大损失额为 268.4537 百万

克朗的可能性为 5%。欧阳资生（2011）以湖南省娄底市地质灾害损失数据为样本，借助广义 Pareto 分布和对数正态分布对地质灾害损失分布进行刻画，计算出地质灾害造成经济上的最大可能损失额为 2.6 亿元的可能性达到 1%。海清和孟生旺（2013）运用极值理论对极端值建模，基于分层定价的思想，在不同的起赔点下对再保险超额损失部分的定价进行了探讨，并计算了洪水再保险纯保费。黄婷（2013）建立 GPD 模型，通过极大似然估计和 MCMC 估计出参数值，根据 1985-2010 年发生在我国的洪水数据损失计算出洪水灾害的纯保费为 7242.74 百万美元。耿贵珍和王慧彦（2016）利用 POT-GPD 模型对我国 1969 年至 2013 年间的地震直接经济损失数据进行了统计建模。舒友福（2016）指出基于 Bayes 估计下的地质灾害直接经济损失在三种置信水平 0.95, 0.975, 0.99 下，对应的风险度量值 VaR、ES 以及 PML 均大于基于极大似然估计下的地质灾害直接经济损失的风险度量值。郭静和张连增（2021）运用 mixed erlang-pareto 分布对地震巨灾损失分布进行拟合并得出结论，一般发生一次地震的直接经济损失不超过 26.51 亿元的概率为 85%，损失值小于 41.68 亿元的可能性为 90%。

1.2.2 最优再保险

本小节将对最优再保险的文献做一个梳理，最优再保险理论研究的内容主要是在最小化保险人（再保险人）的风险度量指标或者最大化保险人（再保险人）的财富期望效用的约束条件下，确定保险人和再保险人之间最优的再保险分出函数形式（比例再保险、止损再保险等）。

最早开始这个领域的研究的人是 Borch，他在 1960 年通过假设期望保费准则和最小化保险公司自留损失的方差为约束条件，得出结论止损再保险是最优的再保险形式。其后，Arrow（1963）通过假设期望保费准则和最大化保险公司的最终财富的期望效用为约束条件，得出结论止损再保险是最优的再保险形式。同样的，Kaluszka（2001）通过假设均值方差保费准则和最小化保险公司自留损失的方差为约束条件，得出结论止损再保险是最优的再保险形式。Young（1999）扩展了 Arrow（1963）的假设，通过假设王氏保费

准则和最大化保险公司的最终财富的期望效用为约束条件，得出结论止损再保险是最优的再保险形式。Cai and Tan (2007) 和 Cai et al. (2008) 通过假设期望保费准则和最小化保险公司总风险的在险价值和条件在险价值为约束条件，得出了同样的结论。Cheung (2010) 通过假设王氏保费准则和最小化保险公司总风险的在险价值和条件在险价值为约束条件，得出了类似的结论。以上提到的文献中关于最优再保险分出函数形式的结论依据不同论文假设的不同而不同，因为数学公式比较繁琐复杂，此处不展开说明，但各文献的结论的共同点是都是止损再保险形式。

上一小段梳理的文献的假设都比较严格，比如都是在某一保费准则或者某个风险度量指标或者某个效用函数的假设下推论的，如果改变保费准则或者风险度量指标或者效用函数，最优分出函数形式会有一些的差异（数学公式层面），即以上研究得出的关于最优再保险的结论不具有稳健性。如果不论选择哪种保费准则或者风险度量指标或者哪种效用函数，都有唯一的最优分出函数形式，则该结果是稳健的。Kaluszka (2005) 通过广义扭曲保费准则和最小化保险人的风险度量指标为约束条件，得出结论最优再保险形式是比例再保险和止损再保险的组合。该结论之所以稳健，是因为该假设涵盖了多种保费准则，比如指数保费准则、标准差保费准则、方差保费准则、王氏保费准则等，只要保费准则在以上范围内，该论文的结论就具有普适性。Balbas et al (2009) 通过假设均值保费准则和最小化保险人的广义风险度量指标为约束条件，得出结论止损再保险是稳健的最优再保险形式。该结论之所以稳健，是因为该假设涵盖了多种风险度量指标，比如标准差、条件在险价值等，只要风险度量指标在以上范围内，该论文的结论就具有普适性。Yichun Chi 和 Ken Seng Tan (2013) 通过假设广义扭曲保费准则和最小化保险人总风险的 VAR 和 TVAR 为约束条件，得出结论止损再保险是稳健的最优再保险形式。该结论之所以稳定，是因为该假设涵盖了多种保费准则，比如指数保费准则、标准差保费准则、方差保费准则、王氏保费准则、DUTCH 保费准则等，只要保费准则在以上范围内，且保险人总风险的风险度量指标是 VAR 或者 TVAR，该论文的结论就具有普适性。本文将引用 Yichun Chi 和 Ken Seng Tan (2013) 的结论构建自然灾害保险基金模型，保证了模型的稳健性。

1.2.3 扭曲保费

本小节将对关于 PH 保费准则的论文进行梳理。为了更进一步的具体测算自然灾害保险基金，需要一个具体的保费准则假设。本文选取的是 PH 保费准则，首先是因为 PH 保费满足 Yichun Chi 和 Ken Seng Tan（2013）中关于保费准则的约束，其次 PH 保费准则有其他保费准则没有的优势。

1995 年，Shaun Wang 提出一种新的保费准则——PH 保费，该保费准则有规模不变性、平移不变性和次可加性等优良特征，使得保险定价更加科学合理。1996 年，Shaun Wang 进一步讨论了 PH 保费的同质风险可加性和随机占优特性等优良特征，指出该保费准则远远优于其他保费准则，提倡业界使用 PH 保费定价。Yichun Chi 和 Ken Seng Tan（2013）在文章中也指出 PH 保费可以反映巨灾再保险市场上存在最小风险比率（保费除以灾害损失）的实际情况，是比较合适的巨灾再保险定价方式。所以，本文选择 PH 保费作为保费准则的假设。

1.2.4 基于行业损失建立巨灾再保险的必要性

本小节将对关于基于行业损失建立巨灾再保险的文献做一个梳理，旨在说明不同于车险和人身险的实证研究，自然灾害保险基金的实证研究主要是基于整个行业的损失来计算，而不是基于某一个保险公司的数据计算，一方面是因为自然灾害损失具有低频高损的特征，各保险公司对自然灾害风险的承保并不算多，对应的数据也相对比较少，单拿一个保险公司的数据进行分析的参考意义不大，另一方面，从理论角度而言，基于行业损失实现自然灾害损失的保险分摊机制，建立基于行业损失的巨灾再保险是学界普遍认同的观点。虽然这个观点已经取得了共识，但本小节还是想对相关文献做一个梳理，帮助读者对该观点有更深刻更全面的了解。

Karl Borch（1962）认为保险市场的帕累托最优状态是所有的风险组成一个风险组合，每个保险人持有一定比例的该风险组合。Christopher M. Lewis 和 Kevin C. Murdock（1996）在巨灾损失迫使多家美国保险公司破产，保险行业急需联邦政府出面帮助其分摊巨灾风险的背景下，提出一种基

于行业损失的再保险，覆盖的损失范围为 250 亿到 500 亿美元，利用联邦政府的信用特征实现巨灾风险在时间维度上的分散。J. David Cummins 和 Mary A. Weiss (2002) 指出随着自然灾害损失发生频率和自然灾害损失的逐年增加，国际再保险市场掀起了并购浪潮，并通过实证分析论证了并购有利于提高保险市场的承保能力和分散风险的效率。Cummins et al (2002) 通过推导得出，要使得整个财产保险市场承保能力得到最大化，需要每个保险人均持有与总体损失完全正相关的一个风险组合。Janine Ferretti 和 Pietro Masci (2005) 指出由于巨灾风险有低频高损的特征且相邻地域的巨灾风险高度相关，完全依靠商业保险市场实现巨灾风险的分散是难以实现的，政府介入以实现全国统筹的巨灾风险管理是不可避免的。鲁峰 (1995) 提出成立全国再保险公司，接受商业保险公司的巨灾分保业务。全国再保险公司与各商业保险公司之间的再保险应为超额赔款再保险。赵苑达 (2009) 提出由政府主管部门牵头，由商业保险公司、中央政府出资设立专门的巨灾再保险机构，负责在各风险承担主体之间分割巨灾保险赔偿限额和分配保费。谢家智和陈利 (2011) 认为政府是巨灾风险基金的总体设计者和监督者，原保险人主要负责巨灾保险产品的销售和理赔，同时承担适度的承保工作。再保险人为中坚力量，是基金运作过程中的核心环节，充当基金管理执行者的角色。田玲 (2013) 在 Cummins et al (2002) 的基础上，通过推导得出当保险市场中存在 m 中不同的巨灾风险时，要使得整个财产保险市场承保能力达到最大化的一个充分而非必要条件是一个由所有保险人共同参与的共保体，单个保险人按照所有者权益占行业总所有者权益的比例承保巨灾损失。田玲 (2013) 认为由资金实力雄厚的保险公司或由政府牵头组建特定机构来承保巨灾风险可以提高巨灾风险的可保性。李立松 (2014) 指出从我国的实际出发，应该有一个巨灾再保险专业机构，通过整合保险行业资源，为巨灾保险提供稳定持续的承保能力支持。林毓铭和林博 (2014) 指出多年来由于缺少国家层面的巨灾准备制度安排，由保险公司自行承担风险责任，往往隐藏着极大的巨灾风险偿付危机，保险公司也大多将属于巨灾险范畴的地震、海啸、台风等列为除外责任。李林和翟义刚 (2017) 提出在地震、洪水、干旱、台风等巨灾风险多发地区分别建立区域性农业巨灾保险基金。朱丽莎 (2018) 认为我国地域广阔，不同地区的巨灾风险的类型和发生

时间都不同,所以提出在全国范围内对不同类型的巨灾风险进行打包,在足够大的风险池中可以实现巨灾风险的跨区域分散和跨期分散。实现这一制度,要求建立中央层面的巨灾基金,方便统筹协调。李子耀和陈肇(2018)认为由于我国巨大的人口基数及巨灾损失的巨大性,决定了任何一个群体都不可能单独承担巨灾风险,因此我国的巨灾风险管理体制应以政府及市场共同主导。高雪馨(2021)认为应该培育和完善再保险市场,并提出在风险频发地区设立省级再保险项目,结合税收、信贷等手段,设计合理的精算模型,制定合理的巨灾保险费率,提高公众的投保意愿。

1.3 研究内容与方法

1.3.1 研究内容

本文的研究内容主要分为五个部分。

第1章,绪论。本章介绍了论文的选题背景和选题意义,梳理了国内外学者在自然灾害保险基金测算和最优再保险以及扭曲保费方面的相关研究成果,阐述了本文的主要研究内容、研究方法、创新点与不足。

第2章,自然灾害保险基金概述。本章首先介绍了发达国家的自然灾害保险体系,在此基础上对我国的自然灾害保险基金方案进行了构想,具体包括参与主体、分类、运行机制。

第3章,自然灾害保险基金模型构建。本章首先介绍了学界提出的两种自然灾害保险基金模型和我国实际应用的自然灾害保险基金模型,经过对比分析后,本文将借鉴田玲和姚鹏(2013)的建模思路,将广义扭曲保费准则和最小化保险人总风险的广义风险度量指标的假设下的最优再保险理论应用于自然灾害保险基金的模型构建,模型中自然灾害保险基金等于保险人总风险的在险价值。其次基于PH保费的优良特征,本文选取PH保费假设,并在自然灾害损失服从对数正态分布的假设下,对自然灾害保险基金模型进一步的推导。

第4章,我国自然灾害保险基金的实证研究。本章首先对1980—2021年间我国自然灾害的经济损失数据进行了统计分析,并通过MATLAB软件对

三种概率分布进行了拟合效果对比，最终证明对数正态分布很好的拟合了过去 42 年间我国的自然灾害损失数据。然后本文借鉴欧阳资生（2011）的做法，用负二项分布拟合每年自然灾害发生的次数，得到了很好的效果。结合第三章中推导的自然灾害保险基金数学模型分析了各参数对于自然灾害保险基金的变化规律。并在一定的假设下，估计了未来五年自然灾害保险基金的数额。

第 5 章，研究结论及政策建议。本章将基于第四章的结论，对自然灾害保险基金的建立提供相应的建议。

1.3.2 研究方法

本文主要使用的研究方法如下：

（1）文献分析法：本文整理分析了国内外自然灾害保险基金模型、最优再保险以及扭曲保费的相关研究文献，通过对现有研究成果的归纳和总结，确定了本文主要的研究思路。

（2）统计分析法：本文选取了我国 1980 年—2021 年间的自然灾害损失数据，利用 MATLAB 等工具对数据进行统计分析，确定了自然灾害损失和发生频率的分布函数和分布参数。

（3）对比分析法：本文将对数正态分布对自然灾害损失数据的拟合效果和伽马分布、威布尔分布进行对比，证明了构建自然灾害保险基金数学模型时对自然灾害损失服从对数正态分布假设的合理性。

（4）理论分析和实证研究相结合的方法：本文将最优再保险理论应用于自然灾害保险基金的估计，实现了数学理论公式在保险市场实践上的研究应用。

（5）数值分析法：本文在样本数据分析的基础之上，利用 MATLAB 随机模拟生成十万个数据，基于该数据分析各参数对自然灾害保险基金的变化规律，并在一定的假设下，对未来五年的自然灾害保险基金进行了估计。

1.4 论文的创新点与不足

本文的创新点主要在于：

（1）本文引用的最优再保险理论（Yichun Chi, 2013）目前尚未被学者引入自然灾害保险基金的数学模型。Yichun Chi（2013）的结论是基于广义保费准则和广义风险度量指标的假设，意味着本文构建的自然灾害保险基金数学模型更具有稳健性。

（2）本文分析了各参数对自然灾害保险基金的变化规律，确定了以最低成本建立最大自然灾害保险基金保障的参数假设，在此基础上提出了相应的结论和建议。

本文的不足之处主要在于：

（1）本文定义自然灾害保险基金为保险人总风险的在险价值，然而在险价值指标相对于条件在险价值指标而言有一定的局限性。将自然灾害保险基金定义为保险人总风险的条件在险价值，并与本文的结论作对比，可以提供更全面有效的建议。

（2）本文引用的自然灾害损失数据包括洪水和地震两种自然灾害，然而却没有考虑两种自然灾害之间的相关性，仅仅是将数据集合在一起进行统计分析。如若将地震和洪水之间的相关性考虑进模型，模型得出的结果将会更准确，同时也会更复杂。

（3）基于本文假设估计的自然灾害保险基金，就目前我国保险市场的发展情况而言，很有可能大于我国保险市场的最大承保能力。如果能将我国保险市场的最大承保能力做一个预估，结合本文的结论，将可以提供更具体更有建设性的结论和建议。

2. 自然灾害保险基金概述

为了方便接下来的研究，本文将自然灾害保险基金定义为在可接受的风险控制范围内，能够维持自然灾害保险市场正常运行所需的最小规模（杨亮，2021），基金规模的大小取决于保险公司承保自然灾害风险可能遭受的最大可能损失。通过自然灾害保险基金测算可以将保险公司承保自然灾害风险可能遭受的最大可能损失做一个预估，并事先进行相应的风险管理以增强自然灾害保险市场对巨灾的抵抗能力。2013年，中国保监会批复深圳、云南为我国巨灾保险首批试点地区；2014年11月，宁波市巨灾保险试点工作开展。然而我国巨灾保险试点地区的自然灾害保险基金建立仍然只靠财政每年固定数额的拨款，不仅给政府带来了较大的财政压力，也没有建立有充分保障力度的基金蓄水池。国外一些发达国家已建立了相对比较完善的自然灾害风险管理体系，比如美国和日本。所以本部分将对美国和日本的自然灾害风险管理体系做一个简要介绍，并依据两国的经验对我国自然灾害保险基金进行方案设想。

2.1 美国、日本的自然灾害保险管理体系

2.1.1 美国国家洪水保险计划(NFIP)

美国的国家洪水保险计划是依据1968年《国家洪水保险法》而建立，该保险计划只针对居民家庭以及某些小型企业的财产，其目的是提供消费者可以买得起的洪水保险，为可能面临洪水灾害风险的居民提供基本的保障。为了减轻该保险计划的风险，规定投保人必须充分实施洪泛区管理条例。该保险计划由联邦政府管理和运作，保险公司代为办理出售、承保、理赔等日常运营操作，保费收入上缴国家洪水保险基金，赔付也由国家洪水保险基金支付。为了保证该保险计划能够充分的补偿受灾地区遭遇的损失，美国国家

洪水保险计划享有免税待遇，并且有权向财政部申请低息贷款和特别拨款。通过以上分析可知，美国国家洪水保险基金主要来源于洪水保险的原保费收入，该洪水保险完全由政府承保，保险公司只承担日常的运营工作。

2.1.2 美国佛罗里达州飓风保险计划

公民财产保险公司(Citizens)和飓风巨灾基金(FHCF)是佛罗里达州飓风灾害保险计划的两个关键主体。公民财产保险公司由佛罗里达州风灾承保协会及佛罗里达州住宅联合伤亡和财产承保协会在 2002 年合并而成，是享受政府免税待遇的非营利团体，专门承保那些私营保险商不愿承保的飓风风险。如果公民财产保险公司发生亏损，就有权要求州内有营业执照的保险人根据其市场份额进行摊派，而这些摊派最终会转嫁到被摊派保险公司的被保险人身上，从而实现保险成本在州内所有被保险人之间的共同分摊。飓风巨灾基金(FHCF)是佛罗里达州政府经营的巨灾再保险项目，于 1993 年 11 月在安德鲁飓风发生后成立。州内保险人必须参加飓风巨灾基金，将自身承保的飓风灾害风险分保给飓风巨灾基金。FHCF 每年根据飓风灾害历史损失数据建立行业免赔额和承保最高总限额，并作为每个保险公司免赔额和承保最高限额的决策依据。通过以上分析可知，飓风巨灾基金充当飓风再保险人的角色，其资金来源包括但不限于飓风再保险费。同时 FHCF 每年建立行业免赔额和承保最高限额的举措也提醒了我们基于行业损失的风险预测是有必要的。

2.1.3 日本地震保险计划

日本地震保险计划是以 1964 年新泻地震灾害为契机，1966 年国会审议通过而建立的，规定各保险公司出资成立一个日本地震再保险公司，专门负责地震灾害的再保险业务。1996 年，日本出台新的地震保险制度，将家庭财产保险与企业财产保险分开，各自采取不同的保险政策。其中家庭财产地震保险由商业保险公司向公众出售，然后全额分保给日本地震再保险公司。日本地震再保险公司将会自留一部分风险，然后将剩余风险分成两部分，一部分根据保险公司的市场份额转分给市场，一部分分给政府。日本的企业财产

地震保险采取商业化模式运作，政府不直接参与，而是间接对企业地震保险的经营采取必要的干预和限制。通过上述分析可知，承保家庭财产地震保险的保险公司需要将风险全部分保给地震再保险公司，地震再保险公司根据行业损失计算自留风险，并将剩余风险分给市场和政府，说明通过实践验证，建立服务行业的自然灾害再保险公司和预测行业自然灾害损失的风险这两种举措是可行有效的。

2.2 我国自然灾害保险基金方案构想

通过以上对发达国家自然灾害保险计划的介绍，可以发现由行业或者政府出资建立一个自然灾害再保险公司对整个行业的自然灾害风险整合，并基于行业损失预测风险，已通过实践验证是科学合理的方法。本文假设存在这样一个服务于行业的自然灾害再保险公司，负责整合和计算基于行业自然灾害损失的风险度量指标，并承担再保险人的角色，承担一部分自然灾害风险。在这样的背景下，保险人缴纳给该再保险人的再保费加上自留风险为保险人承担的总风险，本文假设自然灾害保险基金为保险人的总风险的在险价值。以下将阐述本文定义的自然灾害保险基金的参与主体、分类、运行机制。

2.2.1 自然灾害保险基金的参与主体

自然灾害保险基金的运作过程中主要有以下参与主体：投保人、保险人、再保险人、政府等其它机构。

（1）投保人

投保人主要是指那些为了规避由自然灾害风险带来的损失而向保险公司购买保险的居民或者中小型企业。自然灾害风险在我国企财险中已有覆盖，且日本地震保险制度也将企业财产地震保险实行商业化运营，因此不再纳入此处的投保人范围内。投保人按照保险合同条款的规定向保险公司缴纳保费，当保险合同中约定的巨灾事件发生并对投保人造成人身伤亡或者财产损失时，保险人将会按照保险合同的约定对投保人进行赔付。通过这种方式，投

保人将自身所承担的巨灾风险转移给保险市场，获得保险保障，从这个角度说，投保人也是巨灾保险的被保险人。

（2）保险人

保险人与投保人订立保险合同，当保险合同中约定的自然灾害发生并对投保人造成人身伤亡或者财产损失时，保险人将会按照保险合同的约定对投保人进行赔付。由于保险人无法单独承担巨大的巨灾损失，所以保险人往往会通过分保将自己承担的风险进一步分散。在自然灾害保险基金的运作过程中，自然灾害保险基金主要是基于保险人的总风险的在险价值计算的，因此自然灾害保险基金保障的主要是保险人的风险，意味着保险人也是自然灾害保险基金的主要资金来源，体现为保险公司针对承保的自然灾害风险提取的准备金和缴纳的再保费。为了和实际情况一致，本文假设保险人是厌恶风险的，在这个假设背景下，进行本文自然灾害保险基金数学模型的推导。

（3）再保险人

再保险人是指由行业内所有保险人出资或者政府出资建立的自然灾害再保险公司或者国际再保险公司。保险人把所有承保的自然灾害风险先全部分保给自然灾害再保险人，再保险人根据汇总的风险情况决定自留额，将一部分行业的自然灾害风险自留，将剩下的自然灾害风险按各保险人的市场份额比例再次分配给各保险人和政府。相当于全行业的自然灾害风险组成了一个风险组合，各保险人和再保险人各自承保一部分该风险组合损失，可以实现在地域方面充分的分散自然灾害风险。同时，国内的保险公司也可以将承保的自然灾害风险向国际再保险市场转移，但为简化模型方便运算，本文假设只存在行业或者政府出资设立的服务于行业的自然灾害再保险公司，国际再保险公司暂不考虑进模型。

（4）政府

因为自然灾害风险存在低频高损的特征，自然灾害的历史数据量不会像人身险或者车险那样多，自然灾害风险预估的准确性相比之下不高，增加了保险人运营自然灾害保险的不确定性。另外，由于自然灾害风险的特征，各风险主体之间和不同自然灾害风险种类之间都具有很强的相关性，进一步增加了保险人赔付的风险。所以自然灾害保险不可避免的具有正外部性的特征，为了鼓励保险人承保自然灾害风险，政府必须给予足够的政策支持。比如说

支持服务行业的自然灾害再保险公司的创立，以及对承保自然灾害保险的保险公司实行政策性倾斜，提供可能的保费补贴、税收优惠、低息高额的贷款权限等。另外，局限于保险行业的偿付能力，保险市场并不能完全分摊自然灾害风险，因此需要政府的资金支持，共同分摊自然灾害风险。

2.2.2 自然灾害保险基金的分类

在自然灾害保险基金中，由于自然灾害包括地震、洪水、台风、泥石流、干旱等灾害，自然灾害保险基金可以根据各灾害类别单独建立专项基金，也可以将几种风险合并在一起建立综合基金。因此，依据自然灾害保险基金包含的灾害类别，可以将自然灾害保险基金划分为如下两种类型：

（1）专项自然灾害保险基金

专项自然灾害保险基金是指只针对某一种自然灾害风险建立基金，比如美国的佛罗里达州飓风保险基金和国家洪水保险基金，日本的地震保险基金，新西兰的地震保险基金等，只用于某一种特别的自然灾害给被保险人造成的损失赔付。专项自然灾害保险基金的建立一般是由于某一区域经常发生某一种自然灾害，目的是给该区域内的居民和中小型企业提供基本的保障，所以专项自然灾害保险基金并没有将自然灾害风险在地域上实现分散，导致该自然灾害保险基金赔付的概率较高，经济压力较大。当然这样做的好处就是实现了保费的公平，只有存在该风险的主体负担该风险对应的保费，不存在该风险的主体可以不用承担该保费成本。另外，由于专项自然灾害保险基金只覆盖某一种灾害损失，其数额相比综合自然灾害保险基金也会更低。

（2）综合自然灾害保险基金

综合自然灾害保险基金是指覆盖多种自然灾害风险的自然灾害保险基金。综合自然灾害保险基金包括两种情况，第一种是覆盖某地区的主要自然灾害和次生灾害，目的是给该区域内的居民和中小型企业提供更全面的保障，第二种是覆盖多个地区多种自然灾害风险，实现自然灾害风险之间的分散化效应和自然灾害风险在不同地区上的分散。田玲（2013）通过实证得出结论，综合自然灾害保险基金小于各专项自然灾害保险基金之和，即将多种自然灾害风险汇总建立一个自然灾害保险基金比针对各自然灾害风险分别建

立专项自然灾害保险基金，更能节约成本。因为本文实证部分的数据考虑了两种自然灾害风险，即地震和洪水，所以理论上说本文计算的是综合自然灾害保险基金。但为了简化模型方便计算，本文在自然灾害保险基金的数学模型推导中并未考虑两种自然灾害风险之间的相关性。

2.2.3 自然灾害保险基金的运行机制

自然灾害保险基金的建立与运作一般包含如下几个步骤：

首先，投保人向保险公司缴纳保费并和保险公司签订保险合同，保险公司收取投保人缴纳的保险费。其次，保险人将承保的自然灾害风险全部转给自然灾害再保险人，自然灾害再保险人依据行业风险决定自留额，并把剩下的风险依据市场份额重新分配给保险人和政府。保险人依据自己分配到的自然灾害风险可以决定是否发行巨灾债券，或者向国际再保险市场转移风险，同时政府应该对承保自然灾害风险的保险人给予财政补贴、特约贷款权限、税收优惠等政策支持。

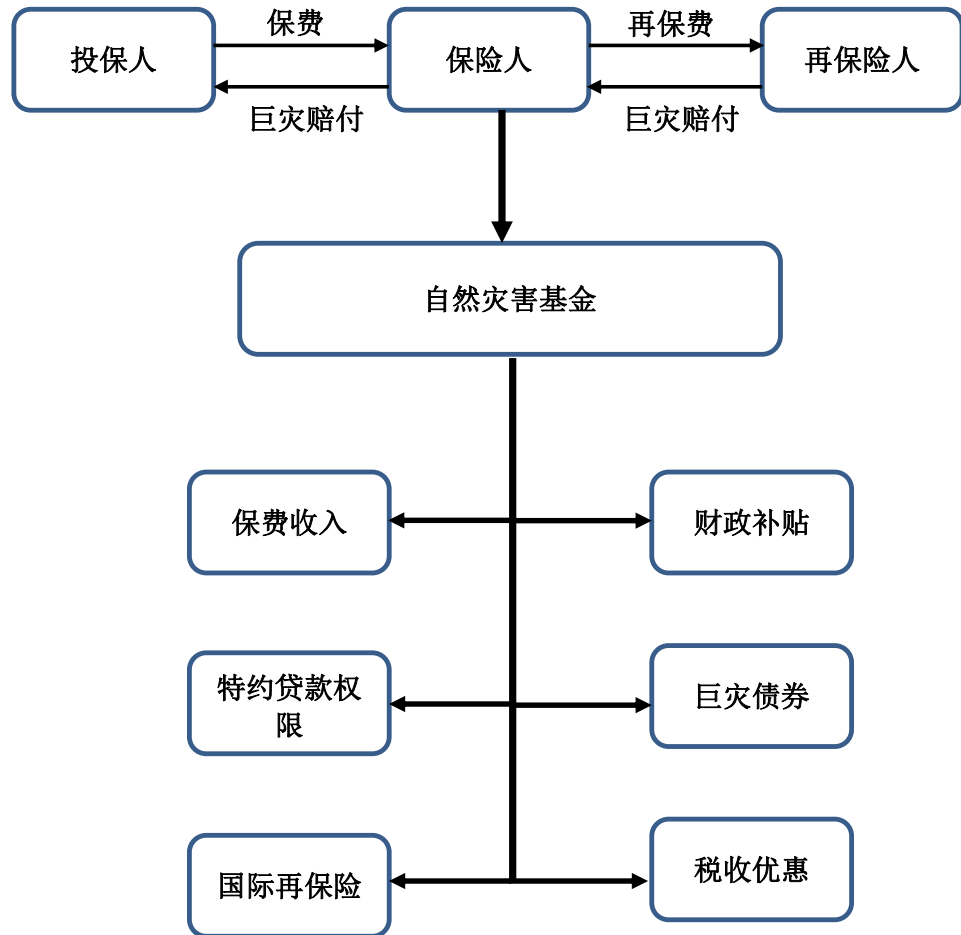


图 2.1 自然灾害保险基金的运作机制图

2.3 本章小结

通过以上讨论，可知本文为了简化自然灾害保险基金的模型构建，假设自然灾害保险基金运作过程的参与主体只有投保人、保险人、自然灾害再保险人、政府。国际再保险公司、发行巨灾债券的特殊管理机构不考虑在模型内。本文考虑的自然灾害保险基金是包含地震和洪水两种自然灾害风险在内的综合自然灾害保险基金，但两种风险之间的相关性暂不考虑。自然灾害保险基金模型的数学公式将在下一章进行详细阐述。

3. 自然灾害保险基金模型构建

3.1 自然灾害保险基金模型构建流程

因为承保自然灾害保险的风险很高，为了鼓励保险公司承保也为了减轻保险公司面临的风险，维护保险市场的稳定，自然灾害保险基金设立的初衷应该是为了减轻保险人面临损失的不确定性。本章将首先介绍我国巨灾保险试点地区建立自然灾害保险基金的方法和两种自然灾害保险基金数学模型，并选择基于 VAR 准则的自然灾害保险基金模型作为本文实证部分的基础。进一步的，本章将介绍基于广义扭曲保费准则和 VAR 准则下的最优再保险分出函数形式。假设保费准则为 PH 扭曲保费准则，将基于 PH 扭曲保费准则和 VAR 准则下的最优再保险分出函数形式代入基于 VAR 准则的自然灾害保险基金模型，具体化自然灾害保险基金模型的数学公式，并在此基础上进行实证。具体步骤如下：

步骤 1：自然灾害保险基金模型选择。首先对两种自然灾害保险基金数学模型和实际应用模型进行对比分析，并选取基于 VAR 准则下的自然灾害保险基金模型作为本文实证部分的基础；

步骤 2：自然灾害保险基金模型构建。假设保费准则为 PH 扭曲保费准则，将基于 PH 扭曲保费准则和 VAR 准则下的最优再保险分出函数形式代入基于 VAR 准则的自然灾害保险基金模型，具体化自然灾害保险基金模型的数学公式；

步骤 3：某些参数值的确定。通过借鉴参考文献的取值方法，对模型中的某些参数进行数值假设，为下一章的实证部分做铺垫。其中关于损失分布的参数将在下一章节用历史经验数据去估计。

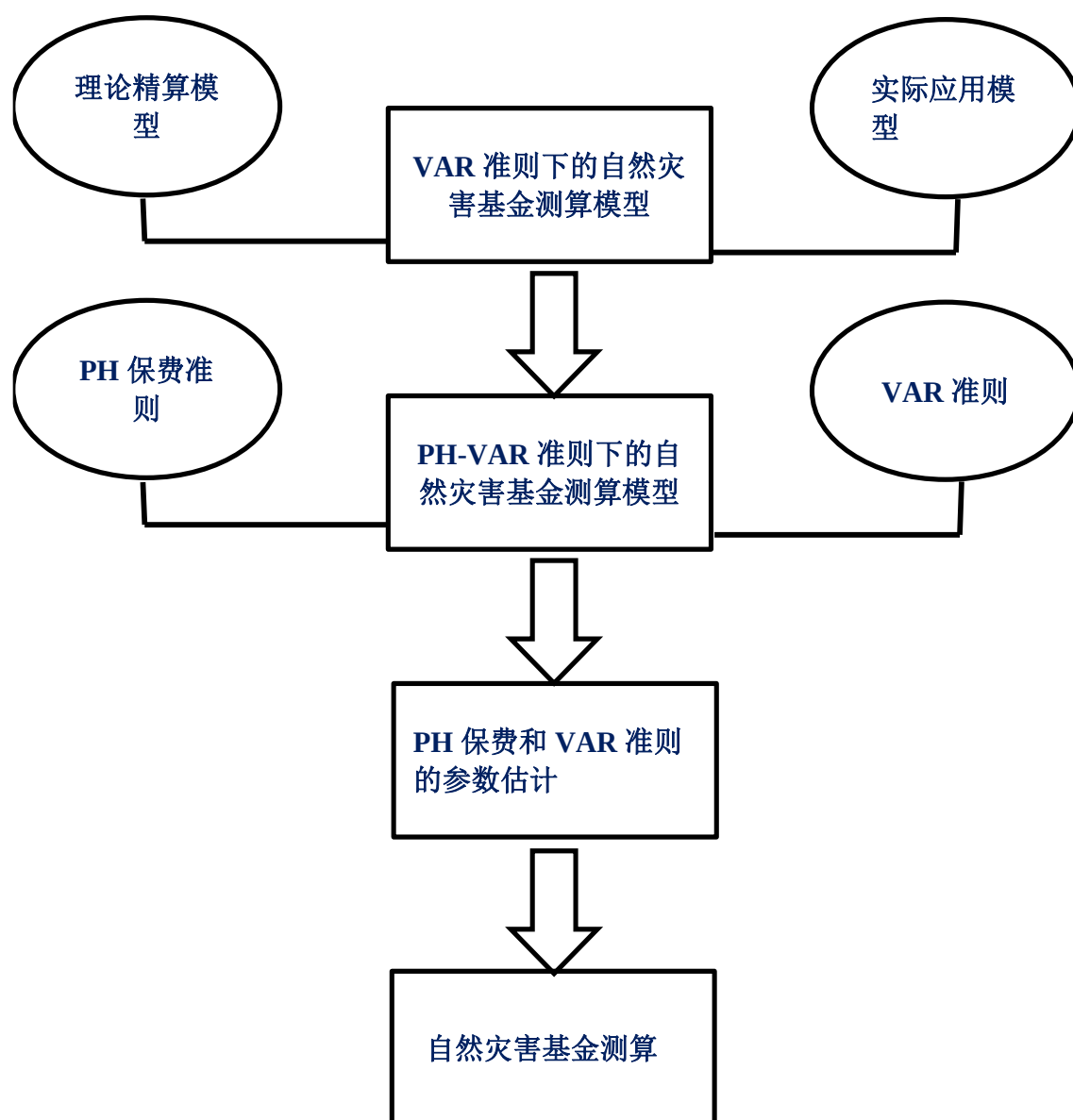


图 3.1 自然灾害保险基金的构建流程图

3.2 自然灾害保险基金模型介绍

本小节将对基于保险行业最大承保能力的自然灾害保险基金模型、基于VAR、CVAR准则下的自然灾害保险基金模型以及我国试点地区自然灾害保险基金的提取办法进行介绍，分析各个模型的优点和局限。

3.2.1 我国试点地区提取自然灾害保险基金的办法

随着自然灾害保险相关政策的出台，自然灾害保险试点陆续在我国个别地区展开，此处介绍深圳、宁波、楚雄三地的提取自然灾害保险基金的办法。

深圳巨灾保险是由深圳市政府出资向商业保险公司购买，用于巨灾发生时对所有在深人员的人身伤亡救助和应急救助，巨灾基金由深圳市政府拨付3000万资金建立，主要用于承担在政府巨灾保险赔付限额之上的赔付。宁波巨灾保险制度框架与深圳类似。由宁波市政府出资3800万元，为全市居民购买总保额达6亿元的公共巨灾保险服务，巨灾基金初期由政府拨付500万元设立，主要用于补偿超过保险公司赔偿限额范围以外赔付。楚雄对试点地区发生5级（含）以上地震造成的农村房屋直接损失、恢复重建费用以及居民死亡救助提供保险保障，省级地震保险平衡基金来自于每年提取30%—50%的保费加上当年盈余。

可以发现，我国试点地区提取自然灾害保险基金的办法是由政府决定拨付固定的数额或者从公共自然灾害保险保费中抽取一部分作为基金。政府出面兜底也是国际自然灾害保险市场的常规操作，也是我国自然灾害保险市场目前的发展现状。但若通过保险市场和资本市场共同分摊自然灾害风险，可以减少政府的经济压力。

3.2.2 基于保险行业最大承保能力的自然灾害保险基金模型

基于保险行业最大承保能力的自然灾害保险基金模型是由武汉大学的田玲教授提出，模型认为自然灾害保险基金需要同时考虑保险市场的最大承保

能力和自然灾害风险的条件可能最大损失，其中自然灾害风险的条件可能最大损失可以表示为：

$$CPML(\alpha) = E\left[L \mid L \geq F_L^{-1}(1-\alpha)\right]$$

其中 L 是保险市场面临的自然灾害损失， α 是置信水平， $F_L^{-1}(1-\alpha)$ 是 L 的逆累积分布函数，条件可能最大损失即表示风险在置信水平 α 下的条件尾部期望损失。保险市场的最大承保能力可以表示为：

$$\sum_{i=1}^n (P_i + Q_i) - \sum_{i=1}^n E(T_i \mid L = CPML(\alpha))$$

其中 $T_i = \max\{P_i + Q_i - L_i, 0\}$ ， L_i 表示第 i 个保险人面临的自然灾害损失， P_i 表示第 i 个保险人收取的保费， Q_i 表示第 i 个保险人的权益资本。 $P_i + Q_i$ 表示如果发生特大级巨灾，损失超过了保险人的权益资本加保费之和，且最大化投保人的赔付所得的条件下，第 i 个保险人的最大赔付额， $\sum_{i=1}^n (P_i + Q_i)$ 表示保险行业的最大赔付额。 $T_i \mid L = CPML(\alpha)$ 表示在自然灾害风险总损失为 $CPML(\alpha)$ 的条件下，第 i 个保险人赔付承保的自然灾害损失之后的盈余， $\sum_{i=1}^n E(T_i \mid L = CPML(\alpha))$ 表示当保险行业中有 n 个保险人时，自然灾害风险总损失为 $CPML(\alpha)$ 的条件下，保险行业在赔付损失之后的盈余期望值。故保险市场的最大承保能力等于保险行业的权益资本加保费减去保险行业在赔付后的盈余期望值。基于保险行业最大承保能力的自然灾害保险基金模型可以表示为：

$$CPML(\alpha) - \left(\sum_{i=1}^n (P_i + Q_i) - \sum_{i=1}^n E(T_i \mid L = CPML(\alpha)) \right)$$

即基于保险行业最大承保能力的自然灾害保险基金等于自然灾害风险的条件可能最大损失减去保险市场的最大承保能力的差。

通过上述分析可知，基于保险行业最大承保能力的自然灾害保险基金模型假设保险人会倾尽所有资源赔付自然灾害损失，当保险行业所有的资源不足以支撑自然灾害损失的赔付时，基金会对实际损失超过保险行业最大承保能力的部分进行补偿。该模型是从被保险人的利益出发，尽最大努力实现赔

付的完成，却忽略了需要维持保险市场的稳定，一般而言，保险公司并不会倾尽所有权益资本去赔付自然灾害保险的损失。

3.2.3 基于 VAR、CVAR 准则下的自然灾害保险基金模型

基于 VAR 准则下的自然灾害保险基金模型假设保险人承保自然灾害风险后将一部分自然灾害风险分保给再保险人，保险人的自留风险加上再保费为保险人的总风险，将自然灾害保险基金定义为保险人总风险的在险价值，用数学公式表示如下：

$$VaR_{\alpha} \left[\sum_{i=1}^n T(X_i) \right] = VaR_{\alpha} \left[\sum_{i=1}^n (X_i - f(X_i) + \pi(f(X_i))) \right]$$

其中， X_i 表示单次自然灾害损失， $f(X_i)$ 表示针对单次自然灾害损失，保险人分保给再保险人的自然灾害风险， $X_i - f(X_i)$ 表示保险人的自留风险， $\pi(f(X_i))$ 表示针对单次自然灾害损失，保险人缴纳给再保险人的再保费。 $T(X_i)$ 表示针对单次自然灾害损失，保险人面临的总风险，包括自留风险和再保费。 n 表示一年中自然灾害发生的次数， $\sum_{i=1}^n T(X_i)$ 表示一年内保

险人的总风险， $VaR_{\alpha} \left[\sum_{i=1}^n T(X_i) \right]$ 表示一年内保险人的总风险的在险价值。

CVAR 准则下的自然灾害保险基金模型只需要把上述公式中的 VAR 改为 CVAR 即可，其他字符的含义都相同，在此不多论述。

通过以上分析可知，基于 VAR、CVAR 准则下的自然灾害保险基金模型假设存在自然灾害再保险人分摊保险人的风险，此举在第二章中也介绍过，是发达国家自然灾害保险市场的常规操作，比如日本的地震保险计划。因为自然灾害保险具有正外部性的特征，保险人承担的风险比较大，所以为了鼓励保险人承保并且减轻保险人的风险，这样的假设是合理的。所以本文采取该种模型作为本文模型的基础继续接下来的讨论。

3.3 基于 PH-VAR 准则下的自然灾害保险基金模型

3.3.1 基于王氏保费和 VAR 准则下的最优再保险分出函数

在基于 VAR 准则下的自然灾害保险基金模型中, 已知保险人可以购买自然灾害再保险分摊自身的风险。在第一章的文献综述中已阐述由所有保险公司或者政府出资设立一个服务于行业的自然灾害再保险人的必要性, 且在第二章对发达国家的自然灾害保险计划的介绍中也对此进行了说明, 故本文假设存在这样一个服务于行业的再保险人。首先保险人将所有承保的自然灾害风险分给该再保险人, 其次再保险人基于汇总的自然灾害风险计算自留额和保险人总风险的在险价值, 最后剩下的风险分保给保险人和政府。其中保险人总风险的在险价值就是基于 VAR 准则下的自然灾害保险基金。现在的关键问题该再保险人如何确定自留额, 从保险人的利益出发, 本文假设再保险人会通过最小化保险人总风险的在险价值来确定自留额。保险人的总风险 $T_f(X)$ 可以表示为:

$$T_f(X) = \sum_{i=1}^n R_f(X_i) + \pi(f(X_i))$$

其中, X_i 表示单次自然灾害损失, $f(X_i)$ 表示单次自然灾害损失的分出额, $R_f(X_i) = X_i - f(X_i)$ 表示单次自然灾害损失中保险人的自留额, $\pi(f(X_i))$ 表示针对单次自然灾害损失, 保险人缴纳给再保险人的再保费, n 表示一年中自然灾害发生的次数。保险人的最优分出函数形式 $f^*(X_i)$, 即再保险人的最优自留额将通过最小化保险人的总风险的在险价值求得, 可以用数学公式表达如下:

$$f^*(X_i) = \min_{f(X_i)} VaR_{\alpha}(T_f(X_i)) = \min_{f(X_i)} VaR_{\alpha}(R_f(X_i) + \pi(f(X_i)))$$

其中 α 是保险人总风险的置信水平, 本文称之为保险人的风险容忍度。在以上条件的约束下, Yichun Chi (2013) 引入王氏保费准则, 已推导出最优分出函数 $f^*(X_i)$ 的公式。其中王氏保费准则的表达式为:

$$\text{令 } Y = f(X_i), \quad S_Y(t) = \Pr\{Y > t\}$$

$$\pi(f(X_i)) = \pi(Y) = (1 + \rho) \int_0^\infty g(S_Y(t)) dt$$

其中 ρ 是附加成本因子， $g(S_Y(t))$ 是扭曲函数。Yichun Chi (2013) 已通过推导得出最优分出函数 $f^*(X_i)$ 的公式为：

$$f^*(X_i) \triangleq \begin{cases} \min \left\{ (X_i - \beta^*)_+, VaR_\alpha(X_i) - \beta^* \right\}, & VaR_\alpha(X_i) \geq \beta^* \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

其中 $S_w(t) = g(S_{X_i}(t))$ ， $\beta^* \triangleq VaR_{1/(1+\rho)}(W)$ ， α 是保险人总风险的置信水平，本文称之为保险人的风险容忍度， ρ 是再保费中的附加成本因子。

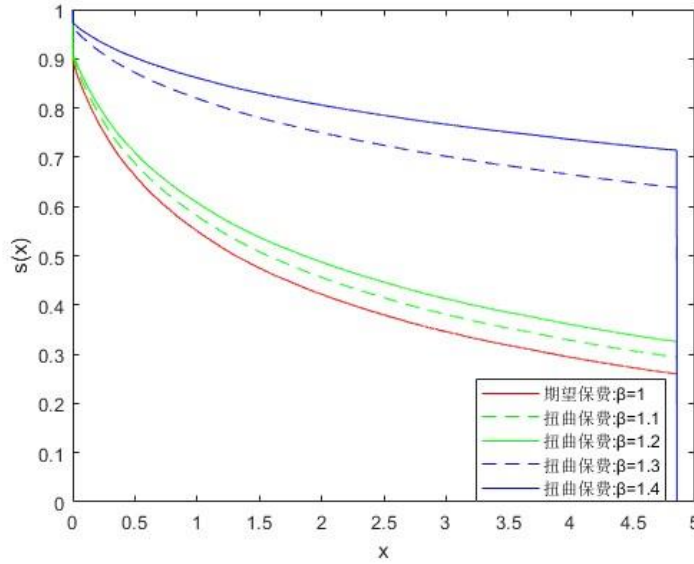
至此，只需要确定王氏保费准则中的扭曲函数的具体公式，即可确定单次自然灾害损失中保险人的最优分出函数公式，即再保险人的最优自留额，进一步的推导在下一小节阐述。

3.3.2 基于 PH-VAR 准则下的最优再保险分出函数

本文选择王氏保费中的 PH 扭曲保费准则继续接下来的推导，PH 保费准则的数学表达式如下：

$$\pi(Y) = (1 + \rho) \int_0^\infty g[S_Y(t)] dt = (1 + \rho) \int_0^\infty S_Y(t)^{\frac{1}{\beta}} dt; \beta \geq 1$$

其中 β 是再保险人对风险的厌恶程度， β 越大说明再保险人越厌恶风险，保险人缴纳的 PH 扭曲再保费越高，反之 PH 扭曲再保费越低。为了更直观的观察 β 与 PH 扭曲再保费的关系，绘制图表如下：

图 3.2 再保费与 β 的关系

在图 3.2 中，再保费等于图中曲线以下横轴以上的面积，从图中可直观的观察，随着 β 逐渐增加，再保费也逐渐增加。之所以选择 PH 保费准则，是因为 PH 保费具有如下优良性质：

(1) 若 $X_1 \prec_{1st} X_2$ ，有 $\pi(X_1) \leq \pi(X_2)$

上式表明若损失变量 X_1 一阶随机占优于损失变量 X_2 ，则对损失变量 X_1 收取的 PH 保费不大于对损失变量 X_2 收取的 PH 保费。其中一阶随机占优的定义如下：

对所有 $t \geq 0$ ，都有 $S_{X_1}(t) \leq S_{X_2}(t)$ ，则 $X_1 \prec_{1st} X_2$ 。

第一个特征说明 PH 保费满足保费准则的基本条件，即对于风险更小的损失变量应该收取更低的保费。

(2) 若 $X_1 \prec_{2st} X_2$ ，有 $\pi(X_1) \leq \pi(X_2)$

上式表明若损失变量 X_1 二阶随机占优于损失变量 X_2 ，则对损失变量 X_1 收取的 PH 保费不大于对损失变量 X_2 收取的 PH 保费。其中二阶随机占优的定义如下：

对所有 $x \geq 0$ ，都有 $\int_x^\infty S_{X_1}(t)dt \leq \int_x^\infty S_{X_2}(t)dt$ ，则 $X_1 \prec_{2st} X_2$

第二个特征说明 PH 保费满足再保险市场保费准则的实际应用条件，即对于风险更大的损失变量应该收取更高的相对风险附加。其中相对风险附加是扭曲保费与期望保费的比例，证明如下：

如果保费准则 $\pi: Y \rightarrow [0, \infty)$ 满足二阶随机占优，且 $E(Y_1) = E(Y_2)$ 则

$$Y_1 \prec_{2st} Y_2 \Rightarrow \pi(Y_1) < \pi(Y_2) \Rightarrow \frac{\pi(Y_1)}{E(Y_1)} < \frac{\pi(Y_2)}{E(Y_2)}$$

(3) 对任意两个同质风险 U 和 V ，满足： $\pi(U+V) = \pi(U) + \pi(V)$

上式表明任意两个同质风险的 PH 保费满足可加性。其中同质风险的定义如下：

如果存在损失变量 z 和两个递增函数 f, g ，有 $X_1 = f(z), X_2 = g(z)$ ，则风险 X_1 和风险 X_2 是同质的。

第三个特征说明 PH 保费保证了保险市场的不可套利性。将 PH 保费准则公式代入基于王氏保费准则和 VAR 准则下的最优再保险分出函数得到基于 PH-VAR 准则的最优再保险分出函数的数学公式如下：

$$f^*(X_i) \triangleq \begin{cases} \min \left\{ \left(X_i - \beta^* \right)_+, VaR_\alpha(X_i) - \beta^* \right\}, & VaR_\alpha(X_i) \geq \beta^* \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

其中 $S_w(t) = g(S_{X_i}(t)) = S_{X_i}(t)^{\frac{1}{\beta}}$ ， $\beta^* \triangleq VaR_{1/(1+\rho)}(W)$ 。为了将该数学表达式简化方便实证，假设损失变量 X_i 服从参数为 μ, σ 的对数正态分布。基于 PH-VAR 准则的最优再保险分出函数的推导过程如下。首先推导 β^* 的公式：

$$\begin{aligned}
\beta^* &\triangleq \text{VaR}_{1/(1+\rho)}(W) \\
\Rightarrow S_W(\beta^*) &= \frac{1}{1+\rho} \\
\Rightarrow S_{X_i}(\beta^*)^{\frac{1}{\beta}} &= \frac{1}{1+\rho} \\
\Rightarrow \Pr(X_i > \beta^*) &= (1+\rho)^{-\beta} \\
\Rightarrow \Pr(\ln(X_i) > \ln \beta^*) &= (1+\rho)^{-\beta} \\
\Rightarrow \Pr\left(\frac{\ln(X_i) - \mu}{\sigma} > \frac{\ln \beta^* - \mu}{\sigma}\right) &= (1+\rho)^{-\beta} \\
\Rightarrow \Pr\left(\frac{\ln(X_i) - \mu}{\sigma} \leq \frac{\ln \beta^* - \mu}{\sigma}\right) &= 1 - (1+\rho)^{-\beta} \\
\Rightarrow \beta^* &= e^{\left[\sigma \Phi^{-1}(1 - (1+\rho)^{-\beta}) + \mu\right]}
\end{aligned}$$

其次 $\text{VaR}_\alpha(X_i)$ 的公式推导如下

$$\begin{aligned}
\Pr(X_i > \text{VaR}_\alpha(X_i)) &= \alpha \\
\Rightarrow \Pr(\ln(X_i) > \ln(\text{VaR}_\alpha(X_i))) &= \alpha \\
\Rightarrow \Pr\left(\frac{\ln(X_i) - \mu}{\sigma} > \frac{\ln(\text{VaR}_\alpha(X_i)) - \mu}{\sigma}\right) &= \alpha \\
\Rightarrow \Pr\left(\frac{\ln(X_i) - \mu}{\sigma} \leq \frac{\ln(\text{VaR}_\alpha(X_i)) - \mu}{\sigma}\right) &= 1 - \alpha \\
\Rightarrow \text{VaR}_\alpha(X_i) &= e^{\left[\sigma \Phi^{-1}(1 - \alpha) + \mu\right]}
\end{aligned}$$

所以对条件 $\text{VaR}_\alpha(X_i) \geq \beta^*$ 的公式推导如下：

$$\begin{aligned}
\text{VaR}_\alpha(X_i) &\geq \beta^* \\
\Rightarrow e^{\left[\sigma \Phi^{-1}(1 - \alpha) + \mu\right]} &\geq e^{\left[\sigma \Phi^{-1}(1 - (1+\rho)^{-\beta}) + \mu\right]} \\
\Rightarrow \alpha &\leq (1+\rho)^{-\beta}
\end{aligned}$$

最后得出基于 PH-VAR 准则的最优再保险分出函数的数学公式为：

$$f^*(X_i) = \begin{cases} \min \left\{ \left(X_i - e^{\left[\sigma \Phi^{-1}(1 - (1+\rho)^{-\beta}) + \mu\right]} \right)_+, e^{\left[\sigma \Phi^{-1}(1 - \alpha) + \mu\right]} - e^{\left[\sigma \Phi^{-1}(1 - (1+\rho)^{-\beta}) + \mu\right]} \right\}, & \alpha \leq (1+\rho)^{-\beta} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

3.3.3 基于 PH-VAR 准则下的自然灾害保险基金模型的公式推导

本文将计算单次自然灾害保险基金和年度自然灾害保险基金，单次自然灾害保险基金只覆盖一次自然灾害损失，年度自然灾害保险基金覆盖一年的自然灾害损失。将基于 PH-VAR 准则的最优再保险分出函数代入基于 VAR 准则的自然灾害保险基金模型中得到基于 PH-VAR 准则下的单次自然灾害保险基金模型的数学公式为：

$$\begin{aligned} VaR_q(T_{f^*}(X_i)) &= VaR_q[R_{f^*}(X_i) + \pi(f^*(X_i))] \\ &\Rightarrow VaR_q\left[X_i - f^*(X_i) + (1+\rho)\int_0^\infty S_{Y^*}(t)^{\frac{1}{\beta}} dt\right] \\ &\Rightarrow VaR_q\left[X_i - f^*(X_i)\right] + (1+\rho)\int_0^\infty S_{Y^*}(t)^{\frac{1}{\beta}} dt \end{aligned}$$

其中，

$$f^*(X_i) = \begin{cases} \min\left\{\left(X_i - e^{\left[\sigma\Phi^{-1}\left[1-(1+\rho)^{-\beta}\right] + \mu}\right]}\right)_+, e^{\left[\sigma\Phi^{-1}[1-\alpha] + \mu\right]} - e^{\left[\sigma\Phi^{-1}\left[1-(1+\rho)^{-\beta}\right] + \mu\right]}\right\}, \alpha \leq (1+\rho)^{-\beta} \\ 0, otherwise \end{cases}$$

q 为基金的置信水平，即保险人总风险的置信水平。基于 PH-VAR 准则下的年度自然灾害保险基金模型的数学公式为：

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N VaR_q(T_{f^*}(X_i)) &= \sum_{i=1}^N VaR_q[R_{f^*}(X_i) + \pi(f^*(X_i))] \\ &\Rightarrow \sum_{i=1}^N VaR_q\left[X_i - f^*(X_i) + (1+\rho)\int_0^\infty S_{Y^*}(t)^{\frac{1}{\beta}} dt\right] \\ &\Rightarrow E(N)\left[VaR_q\left[X_i - f^*(X_i)\right] + (1+\rho)\int_0^\infty S_{Y^*}(t)^{\frac{1}{\beta}} dt\right] \end{aligned}$$

其中，

$$f^*(X_i) = \begin{cases} \min\left\{\left(X_i - e^{\left[\sigma\Phi^{-1}\left[1-(1+\rho)^{-\beta}\right] + \mu}\right]}\right)_+, e^{\left[\sigma\Phi^{-1}[1-\alpha] + \mu\right]} - e^{\left[\sigma\Phi^{-1}\left[1-(1+\rho)^{-\beta}\right] + \mu\right]}\right\}, \alpha \leq (1+\rho)^{-\beta} \\ 0, otherwise \end{cases}$$

N 为一年中自然灾害的发生次数。因此只要确定保险人的风险容忍度 α ，基金的置信水平 q ，再保险人的风险厌恶度 β ，再保费中的附加成本因子 ρ ，

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/208112045061006031>