

灾难模型化及其国外主要开发商

陈克平

(Risk Frontiers, Macquarie University, Australia)

摘要：本文主要包括两方面的内容：(1)简略分析灾难模型化和它在保险业中的应用；(2)介绍当前国外从事灾难模型化的主要研发单位包括独立的模型化公司、大学研究所、再保险公司、再保险中介经纪公司和政府机构。同时收集了一些最近灾难模型化方面的文献，希望这方面的信息能有助于同行在我国减灾与保险业之间的研究。

关键词：灾难模型化；保险；自然灾害；开发商

(该文出版在/自然灾害学报/2004年第2期)

Catastrophe modelling and its major overseas developers

CHEN, Keping

Abstract: Confronted with frequently occurring natural hazards and mounting property, life, and economic losses, catastrophe modelling that serves as a tool for estimating potential losses from major events has been advanced significantly in the past decade. This paper briefly reviews catastrophe modelling and its applications in the insurance industry, and introduces major overseas developers of catastrophe modelling, including private modelling companies, university-based research centres, reinsurance companies, reinsurance intermediaries or brokers, and government agencies. A list of recent literature on the topic is also assembled. It is hoped that such information will be useful for disaster insurance research in China.

Keywords: catastrophe modelling; insurance; natural hazards; developers

灾难主要指那些发生可能性虽然不大但是一旦发生通常造成巨大损失的自然和人为事件，如地震、台风、洪灾、大坝倒塌、恐怖主义事件等。灾难模型化(catastrophe modelling)运用系统、综合的方法对这些事件各个相关的物理灾害因子和社会经济承灾因子进行分析，并对它们相互作用所造成的损失进行预估。这些事件并不一定要真的发生，灾难模型化可以利用历史数据和相应的动态情况在地学空间分析环境下进行仿真模拟，估算出一定概率状态下的未来灾难事件所可能造成的覆盖区域，严重程度和经济损失等。灾难模型化常应用于保险企业的财产保险业务管理，它在文献中表述不完全一致，其他用法包括灾难损失模型化(catastrophe loss modelling)、灾难风险模型化(catastrophe risk modelling)；如果不强调灾害程度的大小，灾难模型化有时也被通称为灾害损失估算(hazard loss estimation)、灾害风险模型(hazard risk model)等。

为集中讨论，本文中的灾难事件主要指自然灾害。我国是个多灾多难的国家，自然灾害种类多，强度大，发生频繁。同时，我国人口众多，最近二十多年来社会全面发展，经济活动的广度和深度大大加强，城镇化水平不断提高，人民生活日趋殷实。自然灾害对社会经济发展的极大负面影响，特别是对相对发达的广大沿海地区，尤其明显。因此，有效的防灾减灾活动对于我国全面建设小康社会和可持续发展意义重大。防灾减灾是国家、保险业(保险与再保险)和个体(如企事业单位、家庭、个人)等多方面的

责任和义务。国家政府机构可通过宏观的社会、经济、财政政策来调控，如强调合理、长远、战略性的土地利用和区域发展规划，开展详细的灾害风险区划，制定基于区域差异的建筑物标准等；保险企业可通过市场经济手段，对投保个体、群体的风险进行有效转移，从而达到对受损方经济补偿和减少政府援助的作用；个体行为虽表现为自愿的，但可通过国家政策和保险企业对投保人的监督，如保险合同约束，促使其对投保的物和人采取适当的防灾减灾措施。

自改革开放以来，保险市场(包括人身、财产和责任保险)在我国得到了极大的培育和发展，保险业在防灾减灾方面的经济调节作用不可忽视。保险企业为使企业利润最大化，需要尽量减少自然灾害对其所承保财产业务的理赔损失，特别是在一旦大灾发生的情况下有足够的再保险覆盖和理赔金使企业不致于倒闭破产。灾难模型化能预估一定概率下灾害的潜在损失，因此成为保险企业对其财产承保业务进行有效管理的重要工具，近年来在保险业中得到了越来越重要的作用，尤其是在财产保险市场比较发达的国家和地区，如北美、欧洲、澳洲、日本等。随着我国市场经济的发展和世界贸易组织的加入，国内外保险企业进一步扩展我国财产保险市场，需对其财产承保业务实行动态、有效的管理，在此背景下灾难模型化自然会有用武之地。

1 灾难模型化及其在保险业中的应用

1.1 灾难模型化

据 Walker 介绍^[1, 2]，灾难模型化初始于七十年代的大学研究所，并在过去的十多年中得到了迅速发展。这是与这段期间大灾频发及其所引起的巨大损失相关的，尤其是在八十年代末九十年代初的一系列大灾事件，如 1992 年在美国东海岸佛罗里达州登陆的 Andrew 台风(保险损失约 155 亿美元)，1994 年发生在加利福尼亚州的 Northridge 大地震(保险损失约 125 亿美元)^[3]。传统的损失预估方法多以经验、静态、相对短暂(如最近几十年)的历史损失统计数据为主，难以反映出通常具有上百年或几百年再发生间隔期的大灾所引起的损失；当它一旦发生时，惯性式的、传统的损失预估结果就大大低于实际损失，这常使风险决策者束手无策，甚至导致保险公司破产，因而急需新一代基于物理机制的利用仿真和现代信息技术的概率风险分析方法(probabilistic risk analysis)。尽管灾难模型化最初是在大学研究所起步，但是由于其具有很大的商业价值，后来被许多商业模型化公司所替代。以后相应的研究也多在商业公司进行，开发的专有模型一般都不公开，成果多以报告的形式给予客户(如再保险公司及其中介)，很少在学术期刊上发表。近年来，由于灾难模型化发展的日趋成熟和模型化市场的相互竞争，不同灾难模型开发商逐渐公开出版、介绍他们各自模型的长处和特色^[4-7]，客户可以对不同开发商的灾难模型进行比较、择优。灾难模型化因此逐渐变得透明，不全是黑箱操作。在这里值得指出的是，灾难模型化在过去十几年的快速发展还与全球经济一体化相关。灾难模型化的用户多是全球的大型再保险及其经纪公司，对于他们逐步扩展的全球财产保险业务，急需开发基于某一地理区域(如东南亚和中美洲地区)的灾害损失模型。

和通常的计量灾害风险评价类似，风险可以看成是物理灾害因子(hazard)、承灾因子(或称暴露量，exposure)和脆弱性(vulnerability)的函数，灾难模型化需要对各种复杂的物理孕灾和致灾因子，建筑物、基础设施和社会经济等非静态承灾因子进行综合分析。不同的灾害具有不同的发生和影响机制。如在地震中，不但要分析板块环境、附近地质断层带、地震的震级-频率关系、地震波的扩散、地面的震动强度和土壤条件等，还要分析各种建筑物的建造和居住类别、抗震性能(如高度、材料、年龄)等。在风暴潮和台风中，不但要分析事件发生的季节、强度、地表摩擦系数、宏观的动态气候因素(如厄尔尼诺南方涛动)，还要分析各承灾因子的分布、数量、抗灾性能等。因为与风险计算相关的各个自然和社会因素几乎都具有时空性，近几十年发展起来的地理信息系统已成为灾难模型化开发不可缺少的技术平台和工具。灾难模型可以是随机性的或确定性的，大多数是前者，近年来计算机技术的迅猛发展为其提供了低成本的强大计算功能。

图 1 表示了一个最基本的灾难模型化过程。对一灾难模型的开发，常常需要聘请有相关灾害研究特长的专家组，根据一定的历史数据，尽量运用科学权威的方法，对灾害事件从发生到影响的各个过程及

其相关的物理参数作个比较客观的推断和确定。所要收集的承灾数据常常来自于一个国家基于特定地理或行政单元的社会、经济、房屋、基础设施等最新详细统计数据(如居民住宅、工商业设施、生命线系统、汽车等)。但是如果灾难模型只是对特定区域特定公司的保险业务量感兴趣,那么只要收集分析相关的数据就可以了。在模型中,通常用脆弱性曲线(vulnerability curve)或平均损害比率曲线(mean damage ratio-MDR curve)来联结物理灾害因子部分和承灾因子部分,常表示为灾害强度(如地震平均强度、台风风力、房屋被洪水淹没深度)与其对承灾因子所可能造成易损程度(如损害百分比%、直接金钱损失量\$)的关系。脆弱性曲线往往依靠保险公司所累积的历史损失数据或科学工程专家的咨询来确定,不同的承灾因子(如各种房屋构造类别)有各自的脆弱性曲线。在计算每一地理单元损失的基础上,得出某一区域的总损失。所开发的模型和预估的损失常通过历史灾害事件的数据来验证、校对和改进。

在随机性灾难模型中,通过需要用非常长的年限(如10000年)对一系列灾害事件的物理参数有足够详尽的表述和模拟(常用蒙特卡罗方法),计算出与各个模拟事件相应的损失;然后用累计概率曲线的形式,将其归纳成一条能供风险管理者使用的“损失超概率曲线”,常简称为“超概率曲线”(probabilistic loss exceedance curve或loss exceedance probability-EP curve),如图1(d),曲线上的每一点表示了在一中某灾害至少造成相应损失的概率。利用这个曲线,如果知道历史上某年灾害的损失量,就可以推算出与此相应的年损失再现间隔期(return period或average recurrence interval-ARI),如几年一遇。在此请注意,年损失再现间隔期不同于灾害事件再发生间隔期,因为一年损失量可以由多次灾害事件累计而成。

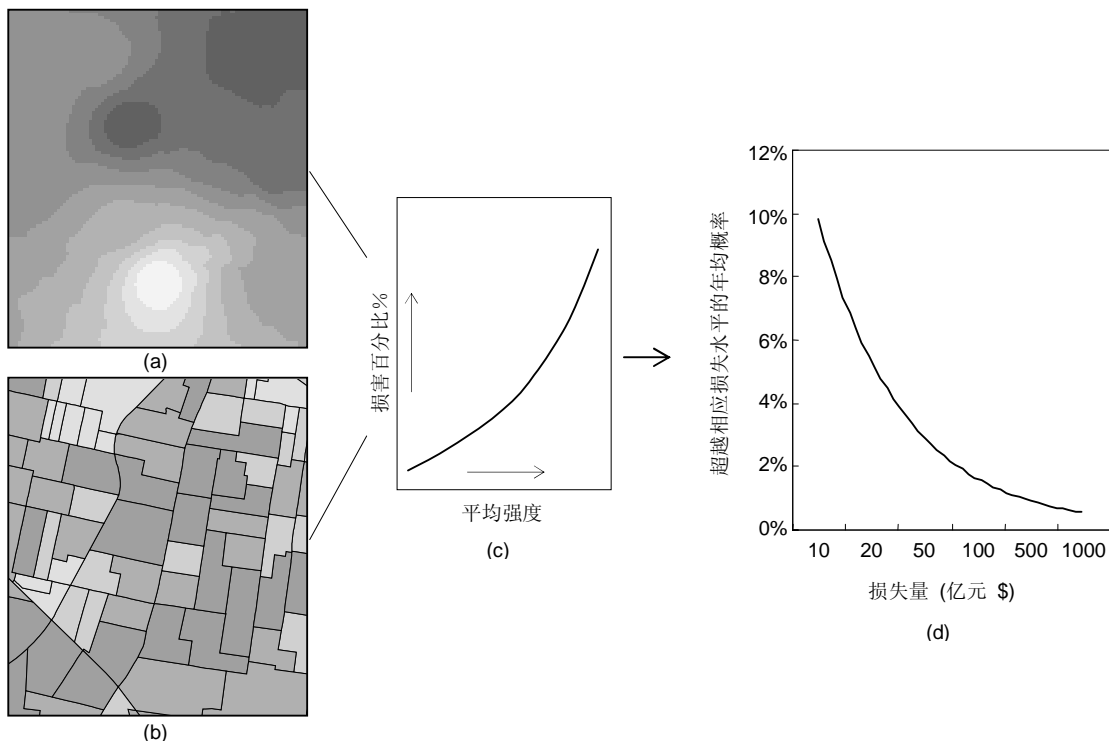


图1 灾难模型化的主要组成部分: (a) 物理灾害因子强度分布, (b) 承灾数据分布, (c) 脆弱性曲线, (d) 损失超概率曲线
 Fig.1 Major components of catastrophe modelling: (a) Hazard intensity distribution, (b) Exposure data distribution, (c) Vulnerability curve, and (d) Loss exceedance probability curve

1. 2 灾难模型化在保险业中的应用

保险公司为了降低和转移经营风险,常常需要向再保险公司购买再保险。正因为灾难模型化能对偶发巨大灾害事件的可能损失有一个比较科学客观的预估,所以对再保险和保险公司共同来说灾难模型化

都应该成为一个公司总体金融风险管理不可或缺的工具，风险管理者可以利用其更好地来评估、分散、优化公司的保险业务^[8-11]。如通过对某一地区的灾害损失进行预估，一个保险公司可以采取相应措施，如提高保险费率或在储存后备金有限的情况下进行有限制的承保业务。具体来讲，模型开发者、保险精算师、风险管理者等一起可以利用灾难模型进行各种应用分析，典型的有：

(1) 一个基本的灾难模型可以考虑许多与客户保险合同和减灾措施相关的因素，加以扩展。在实际操作中，各项与保险合同相关的具体条件(如免赔额、限额)和其他调整因素(如税收、通货膨胀率)都可以融入到模型中，计算出更为实际的损失，然后风险管理者可以将“损失超概率曲线”融入到公司总体业务的宏观规划与金融管理中。

(2) 保险公司可以利用所得的“损失超概率曲线”来确定其该购买再保险覆盖的损失上限，这上限也就是保险业中所指的可能最大损失 (probable maximum loss—PML)。在不严格的情形和口语中，EP 曲线常被指为 PML 曲线。

(3) 利用“损失超概率曲线”，可以计算年均损失(average annual loss—AAL)，即不考虑其他附加因素(如保险公司经营成本、后备金和预期营业利润)时的年均纯保险费率等。

(4) 对灾难模型中各种物理灾害、承灾、脆弱性等因子在不同时空尺度下(如特定地理子区域和时段)进行分析。

(5) 在不同假设方案和置信水平下，对模型的各个子部分和模型因子进行数量上的敏感性分析。

(6) 在某一区域，比较与不同灾害相应的“损失超概率曲线”。

2 国外主要的灾难模型化开发商

主要的灾难模型化开发商或研发单位包括独立的灾难模型化公司、大学研究所、再保险公司及其中介经纪公司 and 政府机构等。现在，灾难模型化市场正逐渐形成一个比较多元的相互交叉、渗透、竞争的格局。对再保险公司和经纪公司来说，他们不仅利用开发商所提供的软件产品和咨询服务，自己也积极地加入到研发行列。从这一点上来说，他们既是研发者又是直接的应用者。这里仅根据作者所了解的情况，为介绍方便，把灾难模型开发单位分成如下 5 类(表 1)。文中只是大致提及他们的产品，对于详细的名目繁多的产品信息，读者可以参阅各自的网址。

表 1 与灾难模型化相关的研发单位及其网址
Table 1 Websites of major companies relating to catastrophe modelling

	单位名称	网址
独立的模型化公司	AIR	www.air-worldwide.com
	EQECAT	www.eqecat.com
	RMS	www.rms.com
基于大学的研究所	Benfield Greig Hazard Research Centre, University College London, UK	www.bghrc.com
	Risk Frontiers, Macquarie University, Australia	www.es.mq.edu.au/nhrc/
	Risk Prediction Initiative, Bermuda Biological Station, Bermuda	www.bbsr.edu/rpi/
再保险公司	Converium	www.converium.com
	Munich Re	www.munichre.com
	Swiss Re	www.swissre.com
	GeneralCologne Re	www.gcr.com
	Gerling Global Re	www.gerling.com/ggre/
再保险中介经纪公司	Aon	www.aon.com
	Benfield Greig	www.benfieldgreig.com
	Guy Carpenter	www.guycarp.com
	Willis	www.willis.com
政府部门	Federal Emergency Management Agency,	www.fema.gov/hazus/

	USA (FEMA)	
	Geoscience Australia	www.ga.gov.au/urban/
其他相关单位及信息	Institute for Catastrophic Loss Reduction (ICLR), Canada	www.iclr.org
	The Institute for Business & Home Safety (IBHS), US	www.ibhs.org
	International Institute for Applied Systems Analysis, Austria (IIASA)	www.iiasa.ac.at/Research/CAT/
	Wharton Risk Management and Decision Processes Center	grace.wharton.upenn.edu/risk/
	Aon Re Hazards & Capital Risk Management Conference Series	www.aonre.com.au
	Conferences on Catastrophe Insurance in Asia	www.asiainsurancereview.com

2. 1 独立的灾难模型化开发公司

这类公司占有灾难模型化市场较大的份额，如 AIR (Applied Insurance Research)、EQECAT、RMS (Risk Management Solution) 等。他们自八十年代末以来得到了快速发展，所开发的模型和软件往往提供给再保险公司及其中介和保险公司使用。他们的模型针对主要的自然灾害种类，应用于众多国家和地区。这些模型不单是基于微机的模型化软件，还有部分是基于英特网的。除了针对自然灾害的灾难模型化外，近年来他们都争先研发与恐怖事件风险相关的灾难模型。

AIR 的主要软件产品包括 CLASIC/2™、CLASIC/1™、CATRADER® 和 CATMAP®/2，可以满足不同客户的需要。他们的基于英特网的应用系统包括 AIRWeather™ (对客户提供气候、气象信息)、ALERT™ (提供准时的灾难损失信息)、AIRProfiler™ (提供基于地区的各种灾害信息)。2002 年 11 月，他们公布了针对亚太地区的台风和地震风险模型：台风模型覆盖台湾、香港和菲律宾，地震模型覆盖台湾、菲律宾和印度尼西亚地区。

EQECAT 产品系列包括 USWIND®、USQUAKE®、WORLD CAT®、UKFLOOD®、JAPANCAT®、AUSCAT®、ENROWIND®、CANADAQUAKE® 等。这些名字反映了与不同地区不同灾害相应配套的灾难模型。

RMS 有两大模型化平台：RiskLink®-ALM 和 RiskLink®-DLM。RiskLink®-ALM 是针对那些合计了的保险承灾或标的的数据 (aggregate insurance exposure data) 而设计的，比较适用于快捷分析。而 RiskLink®-DLM 则利用基于个体的详细承灾数据 (detailed exposure data)，是个非常全面的灾难模型化平台。不同地理区域的各种复杂的灾难模型可以融入到以上两个平台中。RMS 还有一个基于英特网的承保系统—RiskBrowser™。

2. 2 基于大学的研究中心

这些研究中心基本上具半商业化性质，由一系列保险、再保险公司和中介经纪公司赞助，而保险公司等就可以直接地获取大学研究所的研究资源和业务咨询服务，两者互为需要和发展。

Benfield Greig 灾害研究中心由 Benfield Greig 公司 (见下 2.4) 赞助，主要由三个小组组成：地质灾害组 (研究地震、滑坡等)、气候灾害与季节性预报组 (研究热带风暴潮、洪灾、干旱、全球增暖对灾害的影响等)、灾后研究与管理组 (研究如何有效减灾、社区备灾、灾害教育等)。他们主要是对英国和欧洲的客户提供服务。现在研究的主要课题包括季节性天气预报 (如对欧洲的气温、降水和风暴性特异天气的长远预报，对全球热带风暴潮易发区的风暴研究)、滑坡、火山爆发、海啸等。

Risk Frontiers 由一系列澳大利亚本国和海外的赞助商资助，他们的业务主要是针对发生在大洋洲和东南亚地区的各种灾害向客户提供灾难模型化信息和其他研究成果。主要的软件产品包括：HailAUS^[5] (针对悉尼和布里斯本地区的随机性冰雹损失模型)、FloodAUS (针对澳洲东海岸近三十个市区的水灾模型)、QuakeAUS (针对澳洲各大省府城市的随机性和确定性地震损失模型)、PerilAUS^[12] (基于澳洲全国的灾害数据库并对全国 2500 多个邮政区域进行多种灾害风险量值化) 等。现在的主要业务是不断完善发展以上模型和开发基于森林野火和风暴潮的灾难模型等。

Risk Prediction Initiative 下属于大西洋百幕大生物研究站，是个向再保险和保险公司提供热带

风暴和台风相关气候信息和预报的研究教育中心。他们主要从事与保险相关的气候方面研究，如改进风暴潮登陆的预测，剖析气候变化与热带风暴潮的关系等。

2.3 再保险公司

除了使用以上开发公司和研究单位所提供的产品外，再保险公司一般设有自己的研发部门来做灾难模型化方面的工作，更加直接地分析客户的保险业务。这类公司包括 Converium、Munich Re、Swiss Re、GeneralCologne Re、Gerling Global Re 等，这里介绍前面三个。

Converium 前身是 Zurich Re。他们的风险模型化部门由极具专业素质的地球物理学家、气象学家、经济师等组成，强调把风险模型与金融模型融为一炉。他们的研究范围很广，涉及欧洲的风暴潮、欧洲中部的洪灾、意大利和日本的地震灾害、南朝鲜的台风等。近年来，Converium 联合众多其他公司完善了供保险企业报告、互相交换承灾数据的标准化系统—CREASTAplus (www.cresta.org)，使输入灾难模型的数据质量有了一定保证。

Munich Re 的灾害风险研究部门自 1974 年成立以来，拥有来自不同背景的专家（如地理、地质、水文、气象和地震等）长期从事自然灾害与财产保险研究。他们利用每年所收集的详细灾害损失数据，已编制了第三版的全球灾害图集^[13]。最近他们对以下灾难事件进行了详细研究：1999 年 12 月接续袭击欧洲的三次风暴（Anatol、Lothar 和 Martin，保险损失约 110 亿美元）、2002 年 8 月发生在欧洲中东部的洪灾、2002 年 10 月发生在欧洲中西部的 Jeanett 风暴。

Swiss Re 在过去的 20 多年中对各种灾难风险进行评价和研究。研发部门有 20 位左右的专家组成，从事保险公司的保险业务分析、定制各种再保险计划等。Swiss Re 拥有一个供用户交互使用的自然灾害数据库和绘图系统（CatNet），用来查询诸如全球地震、热带风暴潮、欧洲风暴、美国龙卷风等的灾害及其强度信息。他们还常发布众多的研究报告，例如关于欧洲的风暴、洪灾，日本和加拿大的地震，全球增暖可引起的风险等。根据 Swiss Re 的 Sigma 杂志最近公布的数据，2002 年自然灾害保险财产损失约为 114 亿美元。

2.4 再保险中介经纪公司

这些中介代理公司一般都设有研究灾害风险的专门机构，对其客户的财产保险业务进行具体设计、安排。他们对灾难模型化及其应用有透彻的了解，不仅常利用前面介绍的灾难模型化研发单位的产品和服务，同时自己也进行开发应用。

Aon 的灾害咨询部门强调对灾难风险管理的综合策略，这不仅反映在他们研究人员的多学科背景上，还积极把灾难模型化与企业金融风险管理结合为一体。他们开发并使用各种面向客户设计的灾难模型和其他高级分析工具，对灾害如地震、洪灾、冰雹、森林野火、龙卷风、飓风等所可能引起的财产损失进行预估。这些大的中介公司在全球的子公司也积极参与到灾难模型的研发和应用，提供基于地区性的与灾难相关的财产保险咨询业务。

Benfield Greig 的自然灾害研究部门自 80 年代末以来一直从事着灾难模型化的分析工作。除了使用其他开发商的模型外，他们还开发了 GAP 和 Catalyst 两大产品。这些产品被用来分析发生在西北欧的风暴，英国的海岸带洪灾，法国的地震与洪灾，美国的地震、飓风、龙卷风和冰雹，新西兰的地震，日本的台风和地震等。因为灾难模型化的结果常要输入到金融模型中，为公司的宏观风险管理服务，Benfield Greig 还开发以下软件产品，如 ReMetric II（动态金融分析和风险模型）和 GeoMetrica（保险承灾数据管理系统）等。

Guy Garpenfer 的再保险中介咨询部门强调对不同模型化公司的模型的性能与区别有透彻了解及输入高质量模型数据的重要性。同时，他们还利用自己专有的 MetaRisk[®]模型化系统，对灾难模型化的损失结果进行进一步优化分析，力争确保客户的财产保险业务得到可靠的风险转移和实现利润最大化。最近他们公布了全球 2002 年灾难再保险市场报告，对代表着全球灾难再保险市场 90% 以上的五大洲 11 个国家进行了评估。

Willis 集团的再保险中介咨询部门参与设计了土耳其政府的国家灾难保险联营计划。他们参与研发了适用于土耳其全国的地震^[14, 15]和洪灾的模型, 定量灾难风险可能对土耳其经济与金融的影响, 设计减灾和风险管理策略。其他业务包括对客户所得到的各种灾难模型结果的不确定性进行分析, 安排与天气风险相关的保险业务等。

2.5 政府机构

对灾难所可能造成的财产损失进行评估, 不仅与保险企业相关, 而且对一个国家各级政府部门制定防灾减灾措施意义重大。除了一般性的灾害风险评估以外, 许多政府部门也资助参与灾难模型化的工作。例如, 美国联邦应急管理部 (FEMA) 的 HAZUS-MH[®]项目是个基于地理信息系统 (MapInfo 或 ArcView) 的针对多种灾害 (包括地震、洪灾、风暴潮与台风) 的损失估算软件系统。它拥有一个非常全面、科学、标准化的损失评估方法体系, 对各种建筑物、生命线设施等等所可能承受的直接和间接经济损失进行计算。目前, 它的地震灾害损失模型已历经多版、不断完善。HAZUS-MH[®]广泛应用于各级政府灾害管理、科研和保险等机构。再如, 澳大利亚地球科学机构设有自然灾害研究组, 对各种影响城市地区的灾害如洪灾、地震、热带风暴潮、滑坡等的风险进行模型化。

2.6 其他

其他与灾难模型化、保险和风险管理较为相关的单位有加拿大的灾难损失减缓研究所 (ICLR)、美国的商业与住宅安全研究所 (IBHS)、奥地利的应用系统分析国际研究所 (IIASA)、Wharton 风险管理与决策过程研究所等。近年来与各种不同灾害相关的风险和保险之间的探讨更趋活跃, 有越来越多的文献出现^[16-29]。不同从事灾难模型化的研发单位都定期举行各种交流活动、讲座、年会等, 例如 Aon 再保险灾害与资本风险管理会议系列和亚洲灾难保险年会等。此外, 联合国、世界银行等许多机构也都不同程度地参与灾害风险管理与保险的研究和信息交流。

3 讨论

灾难模型化作为一种风险评价技术已成为对财产保险业务实行有效管理的不可或缺的工具。值得指出的是, 灾难模型的应用不只限于保险业。理论上讲, 灾难模型对凡是与自然灾害和财产损失相关的各个部门和机构都有应用价值, 如政府部门、银行、证券评价机构、投资基金公司等。政府保险监督管理部门可以单独或要求保险企业开展类似的模型化工作, 研究的结果可以用来审计保险公司的保险费率定价等, 确保保险企业对广大消费者公开、公平、公正的合理收费原则。灾难模型化的开发与应用强调在解决实际问题中多学科合作的重要性, 它的建模、分析和应用思路可能对广泛的环境风险影响评价与管理具有一定的参考价值。

灾难模型化仍需不断改进和完善, 如深化理解更多的物理灾害机制和减少模型中不确定性因素等。基于我国复杂的自然灾害和社会经济发展背景, 灾难模型化可能比西方同类研究有着更多的困难和挑战, 在今后值得更多探索。作为知识经济的一部分, 灾难模型化将会有广阔的应用前景。

(感谢 George R. Walker 博士提供有关 PML 名称的背景信息)

参考文献:

- [1] Walker G R. The development of wind and earthquake damage risk models to predict insurance loss [A]. Melchers R E. Stewart M G. Integrated Risk Assessment: Current Practice and New Directions [C]. Rotterdam, Netherlands: A A Balkema Publishers. 1995. 1-6.
- [2] Walker G R. Current developments in catastrophe modelling [A]. Britton N R. Oliver J. Financial Risk Management for Natural Catastrophes Proceedings of a Conference Sponsored by Aon Group Australia Limited [C]. 1997. 17-35.
- [3] NRC (National Research Council). The Impacts of Natural Disasters: A Framework for Loss Estimation [M], Washington, DC: National Academy Press. 1999.

- [4] Bendimerad F. Loss estimation: A powerful tool for risk assessment and mitigation [J]. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2001, 21(5): 467-472.
- [5] Leigh R. Kuhnel I. Hailstorm loss modelling and risk assessment in the Sydney region, Australia [J]. *Natural Hazards*, 2001, 24(2): 171-185.
- [6] Campbell K W. Thenhaus P C. Barnhard T P. Hampson D B. Seismic hazard model for loss estimation and risk management in Taiwan [J]. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2002, 22(9): 743-754.
- [7] Clark K. The use of computer modeling in estimating and managing future catastrophe losses [J]. *The Geneva Papers on Risk and Insurance—Issues and Practice*, 2002, 27 (2): 181-195.
- [8] Froot K. *The Financing of Catastrophe Risk (National Bureau of Economic Research Project Report)* [M]. Chicago: University of Chicago Press. 1999.
- [9] Dong W. *Building a More Profitable Portfolio: Modern Portfolio Theory with Application to Catastrophe Insurance* [M]. London: Reactions Publishing Group. 2001.
- [10] Lane M. *Alternative Risk Strategies* [M]. London: Risk Books. 2002.
- [11] Kunreuther H. Mitigation and financial risk management for natural hazards [J]. *The Geneva Papers on Risk and Insurance—Issues and Practice*, 2001, 26 (2): 276-295.
- [12] Chen K. Blong R. Hunter L. Andrews K. Siciliano F. PerilAUS relative risk ratings in natural hazards, Australia [A]. *Proceedings of Geoinformatics 2002 (CD-ROM)* [C], Nanjing: The International Association of Chinese Professionals in GIS (CPGIS). 2002. 10 p.
- [13] Berz G. Kron W. Loster T. Rauch E. Schimetschek J. Schmieder J. Siebert A. Smolka A. Wirtz A. World map of natural hazards: A global view of the distribution and intensity of significant exposures [J]. *Natural Hazards*, 2001, 23(2-3): 443-465.
- [14] Bommer J. Spence R. Erdik M. Tabuchi S. Aydinoglu N. Booth E. del Re D. Peterken O. Development of an earthquake loss model for Turkish catastrophe insurance [J]. *Journal of Seismology*, 2002, 6(3): 431-446.
- [15] Spence R. Bommer J. del Re D. Bird J. Aydinoglu N. Tabuchi S. Comparing loss estimation with observed damage: A study of the 1999 Kocaeli earthquake in Turkey [J]. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2003, 1(1): 83-113.
- [16] Malmquist D L. Michaels A. Severe storms and the insurance industry [A]. Pielke R A Jr. Pielke R A Sr. *Storms* [M]. London: Routledge Press. 2000. 54-69.
- [17] Chandler A M. Jones E J W. Patel M H. 2001. Property loss estimation for wind and earthquake perils [J]. *Risk Analysis*, 2001, 21(2): 235-250.
- [18] Harper B A. Numerical modelling of extreme tropical cyclone winds [J]. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1999, 83(1): 35-47.
- [19] Huang Z. Rosowsky D V. Sparks P R. Long-term hurricane risk assessment and expected damage to residential structures [J]. *Reliability Engineering and System Safety*, 2001, 74(3): 239-249.
- [20] Khanduri A C. Morrow G C. Vulnerability of buildings to windstorms and insurance loss estimation [J]. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2003, 91(4): 455-467.
- [21] Stewart M G. Cyclone damage and temporal changes to building vulnerability and economic risks for residential construction [J]. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2003, 91(5): 671-691.
- [22] Chang S. Nojima N. Measuring post-disaster transportation system performance: The 1995 Kobe Earthquake in comparative perspective [J]. *Transportation Research Part A*, 2001, 35(6): 475-494.
- [23] Rose A. Lim D. Business interruption losses from natural hazards: conceptual and methodological issues in the case of the Northridge earthquake [J]. *Global Environmental Change Part B*, 2002, 4(1): 1-14.
- [24] Yamori N. Kobayashi T. Do Japanese insurers benefit from a catastrophic event? Market reactions to the 1995 Hanshin—Awaji Earthquake [J]. *Journal of the Japanese and International Economies*, 2002, 16(1): 92-108.
- [25] Blanchard-Boehm R D. Berry K A. Showalter P S. Should flood insurance be mandatory? Insights in the wake of the 1997 New Year's Day flood in Reno-Sparks, Nevada [J]. *Applied Geography*, 2001, 21(3): 199-221.
- [26] Miranda M. Vedenov D V. Innovations in agricultural and natural disaster insurance [J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2001, 83(3): 650-655.
- [27] Dlugolecki A F. Climate change and the insurance industry [J]. *The Geneva Papers on Risk and Insurance—Issues and Practice*, 2000, 25(4): 582-601.
- [28] Linnerooth-Bayer J. Amendola A. Global change, natural disasters and loss-sharing: Issues of efficiency and equity [J]. *The Geneva Papers on Risk and Insurance—Issues and Practice*, 2000, 25(2): 203-219.
- [29] Dischel R S. *Climate Risk and the Weather Market: Financial Risk Management with Weather Hedges* [M]. London: Risk Books. 2002.