

黄崇福. 自然灾害动态风险分析基本原理的探讨[J]. 灾害学, 2015, 30(2): 1-7. [Huang Chongfu. Exploration on the basic principles of dynamic risk analysis in natural disasters[J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(2): 1-7.]

# 自然灾害动态风险分析基本原理的探讨<sup>\*</sup>

黄崇福<sup>1,2,3</sup>

- (1. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;
2. 北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875;
3. 民政部/教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875)

**摘 要:** 随着自然环境的变化和人类社会的发展, 自然灾害的风险必然发生变化。变化着的风险, 称为动态风险。该文概述了动态风险研究的现状, 指出更新算法和趋势预测法只适于研究惯性型动态风险, 没有触及动态风险的本质, 进而界定随着综合环境和内在属性的变化而变化的风险才是动态风险。人们所能研究的仅仅是认知动态风险。提出了以“研究综合环境和内在属性变化对风险源和风险承受体的影响”为核心, 并对风险源和风险承受体进行耦合的自然灾害动态风险分析基本原理。

**关键词:** 动态风险; 认知风险; 真实风险; 综合环境; 内在属性; 耦合

**中图分类号:** X43    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1000-811X(2015)02-0001-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2015.02.001

由自然变异为主因导致的未来不利事件情景, 称为自然灾害风险<sup>[1]</sup>。自然灾害频繁发生, 并呈现某种统计规律, 通常可用事件发生的概率和后果之乘积来度量风险大小。财产保险公司依此计算出来的标的风险, 其内涵是损失的期望值。

这种基于概率思维和统计学计算的官方科学所认可的数字形式的“风险”, 主要工作之一是用已观测的样本来计算灾害事件发生的概率, 其有效性建立在平稳马尔可夫随机过程的假定之上: 随机系统未来的发展状态只与过去  $T$  年的系统情况有关, 而与更早以前的系统情况无关, 并且, 状态概率分布不因时间的平移而改变。对于满足此假定的自然灾害系统, 人们自然可以用过去  $T$  年的系统资料, 推算系统未来  $T$  年内的风险。

平稳马尔可夫随机过程<sup>[2]</sup>假定下的风险, 是一种静态风险, 而包含社会子系统在内的自然灾害风险系统, 并非一成不变, 是动态的风险。60多年前, 黄河中下游地区洪水灾害风险极高, 今天则已大大降低, 这就是最好的例证。

特别是, 当自然灾害的风险研究已经精细化到社区级时, 风险的动态性更是不可被忽略。难怪在龙卷风频发的美国(例如, 仅在2011年4月就发生了875个龙卷风), 竟然认为龙卷风的观测资料不足, 难以确定其发生频率和强度的变化趋势<sup>[3]</sup>。的确, 对常被龙卷风袭击的一个中西部州(例如内布拉斯加州)而言, 确定其发生频率和强

度及变化趋势并不难, 但对已进行网格化管理的美国而言, 将扫过面积并不大的龙卷风平均到大区域上, 计算出相关数据, 意义不大。

今天, 全球的大多数自然灾害风险图并没有时效性。以此为依据的风险管理, 常使人们处于被动的“应对”地位。在我国, 随着社会和经济的快速发展, 自然灾害风险事件的风险水平呈现出明显的动态变化性特点。从风险来源来看, 无论是气候变化背景下的极端天气气候事件, 还是大震之后的能量积累, 均与时间具有较强的相关性; 从风险承受体来看, 社会经济越发达, 防灾减灾能力越强, 但由于经济总量增大, 同样强度下的经济损失绝对值往往更大, 承受体的风险属性与时间具有很强的相关性。

显然, 由于信息匮乏和知识有限, 对不确定性极大的未来世界, 用任何的统计回归和预测模型, 均不可能正确描述动态风险。为此, 本文将探讨自然灾害风险的动态特征, 提出动态风险分析的基本原理, 为建立动态风险分析的基本理论和方法创造条件。

## 1 动态风险研究概述

### 1.1 更新算法

目前, 人们对动态风险分析技术的研究, 主

\* 收稿日期: 2014-11-13    修回日期: 2014-12-15

基金项目: 国家重大科学研究计划“全球变化与环境风险演变过程与综合评估模型”(2012CB955402)

作者简介: 黄崇福(1958-), 男, 云南个旧人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为自然灾害风险分析。

E-mail: hchongfu@bnu.edu.cn

要是探讨更新算法。例如,以故障树分析和事件树分析结合的蝴蝶结分析技术<sup>[4]</sup>,大量应用于过程行业中事故情景的风险评估。其风险动态的描述,是通过故障树更新和事件树更新来实现<sup>[5]</sup>。式(1)所示的协变量模型<sup>[6]</sup>被推荐用于故障树更新。故障率 $\lambda(t, \mathbf{X})$ 是时间 $t$ 和协变量向量 $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 的函数。 $\lambda_0(t)$ 是基线故障率,仅是时间的函数。 $g(\mathbf{X}, \mathbf{A})$ 是一个正函数,与时间无关。 $\mathbf{A} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 是一个未知参数向量, $a_i$ 通常用最小二乘法或最大似然法来估计。

$$\lambda(t, \mathbf{X}) = \lambda_0(t)g(\mathbf{X}, \mathbf{A}). \quad (1)$$

当故障率服从韦布尔分布,且尺度因子 $\theta$ 是协变量的函数时,故障率 $\lambda(t, \mathbf{X})$ 可由式(2)表达。

$$\lambda(t, \mathbf{X}) = \beta t^{\beta-1} \left\{ \text{Exp} \left( \sum_{i=0}^n a_i x_i \right) \right\}^{-\beta}, \quad (2)$$

式中: $\beta$ 是韦布尔分布的形状因子。按照惯例,式中的 $x_0 = 1$ 。因此,失效概率随时间变化的协变量模型为式(3)。

$$F(t) = 1 - \text{Exp} \left\{ - \left( \frac{t}{\text{Exp} \left( \sum_{i=0}^n a_i x_i \right)} \right)^{\beta} \right\}. \quad (3)$$

事件树的更新通常用贝叶斯方法。文献[7]中假定,安全屏障故障率的先验概率分布遵循参数为 $\alpha, \beta$ 的伽玛分布。当系统随时间变化的故障数目遵循参数为 $r$ 的泊松分布时,故障率 $\lambda$ 的后验分布为式(4)。

$$f(\lambda | r) = \frac{(\beta + t)^{\alpha+r} \lambda^{\alpha+r-1} \text{Exp}(-(\beta+t)\lambda)}{\Gamma(\alpha+r)}. \quad (4)$$

再例如,文献[8]中提出平均算法,可以用新发生的灾害事件观测值,对内集-外集模型<sup>[9]</sup>计算得到的可能性-概率分布式(5)进行更新,其结果与用新旧观测值混合后计算的结果完全一致。这说明,可能性-概率分布存储了原始数据的所有信息,使得风险更新更为方便。

$$\Pi_{\Omega, P} = \{ \pi_x(p) | x \in \Omega, p \in P \} \subseteq [0, 1], \quad (5)$$

式中: $\Omega$ 为基本事件空间, $P$ 为概率论域, $\pi_x(p)$ , $p \in P$ 是事件 $x$ 发生的模糊概率,即不能确定 $x$ 是以某个概率值 $p$ 发生,而是有一些概率值的可能,是 $P$ 上的一个模糊集。平均算法由式(6)给出。

$$\pi_x(p) = \sup_{p = (w_1 s + w_2 f) / (w_1 + w_2)} \{ \min \{ \pi_x^{(1)}(s), \pi_x^{(2)}(f) \} \}, \quad (6)$$

式中: $\pi_x^{(1)}(s)$ 是旧的可能性-概率分布, $\pi_x^{(2)}(f)$ 是用新发生的灾害事件观测值计算得到的可能性-概率分布,权重值 $w$ 由新旧观测值个数的比重确定。

一般来说,人们更新的不仅仅是数据,而且风险评估的框架也可能随着时间的变化而适当地修改。例如,过去20年,美国“国家儿童研究计划”中儿童健康风险的评估框架就不断地被完善<sup>[10]</sup>。

## 1.2 趋势预测法

用预测方法进行动态风险分析,是最自然的思路。今天,常用的预测方法多达几十种<sup>[11]</sup>。这些预测方法也可以被分为定量方法和定性方法两

大类。在没有可供使用的历史数据时,一般采用定性的预测方法,如Delphi法、专家推断、交叉概率法、模糊推理法等。当拥有足够多的可用数据时,一般采用定量的预测方法,如非线性外推法和时间序列预测法等。时间序列预测法就是通过编制和分析时间序列,根据时间序列所反映出来的发展过程、方向和趋势,进行类推或延伸。根据对资料分析方法的不同,又可分为自回归模型、简单序时平均数法、加权序时平均数法、移动平均法、加权移动平均法、趋势预测法、指数平滑法、非平稳时序模型、非线性时序模型等等。

一个比较直观的自然灾害动态风险趋势预测方法,是将历史灾害资料以五年为一个时段进行分组处理,回溯历史风险的动态过程,通过其来观察风险的发展趋势<sup>[12]</sup>。由于每个时段可供分析的样本点只有5个,是典型的小样本问题,也很难合理假设出相关的曲线形式,因此,这一回溯模型采用了信息扩散技术<sup>[13]</sup>,分别估计灾害发生的概率分布和风险承受体的脆弱性曲线,然后耦合成自然灾害动态风险图。文献[12]中用汕头市1951-2010年间的降雨数据和洪涝灾害数据,计算出洪涝灾害动态风险图(图1),预测该市人口面临的暴雨洪涝灾害风险较“十一五”将会有大幅度升高,风险值会反弹到0.02。

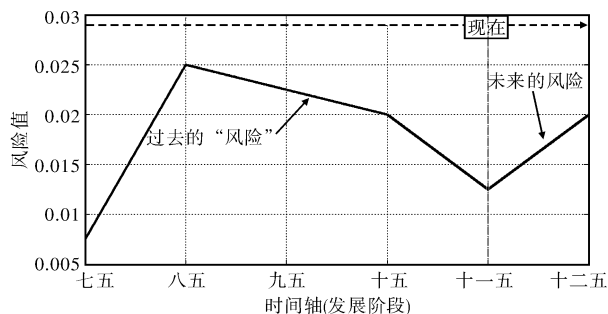


图1 汕头市洪涝灾害动态风险变化曲线

## 1.3 风险雷达

2013年5月23日,历时5年的欧盟第七框架计划大型项目iNTeg-Risk结题,发布了“iNTeg-Risk宣言”,呼吁建立“欧洲新兴风险雷达”,确保实现在2020年将欧洲生产事故降低25%的目标。这里,风险雷达被定义为对风险进行监测的工具。基本功能是,根据社会、政治、经济、金融、监管、法律和技术等因素确定的关键性问题,对相关风险进行动态识别、定位和评估。与传统风险雷达概念不同的是,这种风险雷达是为多用户打造的,每个人都可以有自己的“翻译”结果。

传统风险雷达,可以上溯到1950年代美国经济学家借鉴和运用现代军事领域的雷达预警系统原理建立的宏观经济运行状况景气监测预测系统<sup>[14]</sup>。大约在21世纪初,西方企业家们面对越来越多出其不意的风险干扰,开始对不同种类的风险进行分类甄别,并且绘制成图来帮助企业有重点、有层次地监测风险。这种图就被称为风险图。例如,安永公司将图划分成四个象限<sup>[15]</sup>:合规风

险缘起于政治、法律、监管或公司治理。金融风险缘起于市场和实体经济的波动性。战略风险与客户、竞争对手和投资者有关。最后，经营风险影响到企业的流程、系统、人员和企业整体价值链。今天，确保每一个战略决策都用风险雷达扫描一遍，已经成为精明企业家成功的一个重要环节<sup>[16]</sup>。

由于国际风险局势的变幻莫测以及国内危机防范形势的紧迫性，新加坡政府敏锐地意识到：以往各机构在情报采集、处理、使用等方面自成系统，这一体制已经不适应新的形势发展需要。因此，政府集中人力、物力、财力资源，建立并加强了国家安全统筹部的决策与领导职能。新加坡政府从 2005 年 10 月开始着手建立“风险评估与侦测机制”信息系统，俗称“风险雷达”，以全面收集、分析和解读各种情报及灾难预测，特别是捕捉那些表面上看起来微不足道的信号，力求充分掌握各种可能构成威胁的状况。风险评估的内容包括自然灾害、疾病疫情、人为破坏、事故灾难以及战争和国际恐怖主义威胁灾害等。

建议中的欧洲新兴风险雷达，由一系列同心圆和辐射线组成(图 2)。同心圆用于显示问题的重要性<sup>[17]</sup>。越靠近圆心，说明越要引起重视。辐射线用于对问题进行分类，根据管理需要而定。这类风险雷达应该具有下述两个功能：

- (1) 可以显示风险示例，并进行直观比较。
- (2) 一旦风险值超过设定的报警级别，能自动检索。

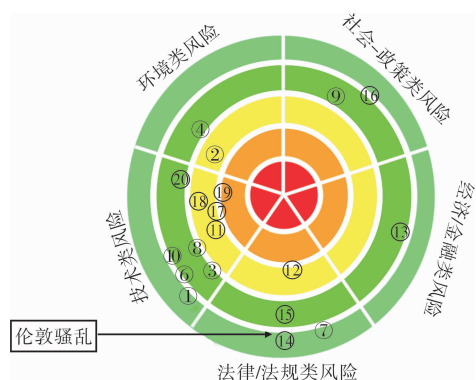


图 2 新兴风险的雷达

注：⑭是指由于法律或法规不当可能引起的“伦敦骚乱”风险。其远离雷达中心，说明虽值得关注，但非迫在眉睫。

#### 1.4 非技术性概念化研究

今天，大量的动态风险分析研究仍停留在非技术性的概念阶段。例如，秦炳军等讨论的过程行业中的动态风险，其实是系统元件动态过程的可靠性<sup>[18]</sup>，所建议的根据蒙特卡洛法得到的时间轴上的事故概率分布，本质上是元件失效随着时间变化的描述，与元件受内外因素的动态影响并无关系。元件使用时间越长，失效可能性越大，这是基本规律。对具体的元件仿真出这一规律，并非就是进行了动态风险分析。

Berend 等在财务管理的应用基础上对动态风险度量的动态持续性以及条件持续性和序列持续性进行了介绍和研究<sup>[19]</sup>，较全面地讨论了条件一致性概念、顺序一致性概念和动态一致性概念，但从假设概率空间推导来的，诸如动态风险尾值(DTVaR)这类的计算(式(7))，很难进入风险分析的实际过程。

$$DTV_{\lambda}R_{\lambda}(X|\omega') = \inf\{E_P[X|\omega'] : \lambda_{PS}(\cdot|\omega') \geq \lambda\},$$

$$\text{for all } \omega' \in F(\omega'). \quad (7)$$

无论是 Cvitanic 等提出的，贝叶斯框架下的最大最小准则的风险的动态测量<sup>[20]</sup>，还是 Evstigneev 等运用随机动态系统理论建立的，购买风险资产的组合规则动态模型<sup>[21]</sup>，以及 Weber 用基本事件上无限可积函数空间定义的不变分布来测量现金流的动态风险<sup>[22]</sup>等等，都是进行类似的概念化研究。

在自然灾害领域，也有学者开始尝试研究自然灾害的动态风险问题。例如，王飞等用后续转换函数和仿真模拟，建立了多灾种、多承灾体状况下自然灾害的动态风险评估概念模型，并模拟了经济、人口、工程等承灾体在不同灾种下的不同脆弱性和相互制约关系，动态地评估了灾害风险<sup>[23]</sup>。黄蕙等指出灾害风险的时空分布，既包括空间上的分析，也应包括时间上的分析，未来的风险评估应该更多地考虑风险的时间分布及动态风险评估<sup>[24]</sup>。Piers 等将政策变化、人口增长、全球化等动态变化总结为“动态压力”，利用压力-释放模型分析了根源因素、动态压力和不确定条件对易损性的作用及其在时间轴上的变化<sup>[25]</sup>。顾明等认为，台风气候、承灾体分布、结构易损性和潜在损失是不断变化的，结构台风灾害风险须进行动态评估<sup>[26]</sup>。Kumar 等较为系统地研究了飓风风险动态变化问题，认为由于建筑物在数量、类型、位置、易损性和价值上的改变，一个地区的飓风风险在随时间变化<sup>[27]</sup>。这些研究，均还停留在概念模型和理论探讨阶段。

#### 1.5 评述

今天，人们尚无有效的理论和方法来检验风险分析结果的可靠性，于是出现了似乎“人人都懂风险、人人都会风险分析”的现象。对于动态风险的分析，更是八仙过海，各显神通。一方面，人们承认风险有时间属性，分析结果并非可以一劳永逸；另一方面，人们迷信监测到的数据和数学分析方法。于是，以概率论为基础的各种数学模型和方法快速向动态风险分析领域发展。然而，动态风险并非是静态风险加上时间因素这样简单。正如物体运动的多重速度相加无法突破光速一样，静态风险在时间轴上动起来并不是动态风险。一个十分有趣的现象是，针对一个社会经济系统，人们总是可以找到收敛近似或万能逼近的模型来模拟其以往的行为，但却不能以同样的精确告诉人们该系统以后的行为。如果可以，2001 年 9 月 11 日恐怖分子劫持民航客机撞击美国纽约世界贸易中心的“9·11 事件”就不会发生了。



本文认为,更新算法和趋势预测法只适于研究惯性型动态风险,没有涉及动态风险的本质:内涵和外延都发生变化。惯性型动态风险是指,风险具有物理学意义上的惯性,即除去外部力量的作用,风险所在系统沿着原有路径继续发生变化。

正如电磁波雷达用不断扫描来跟踪运动物体一样,风险雷达也是用不断更新相关信息来跟踪风险的动态变化。今天的风险雷达,本质上是传统风险矩阵的一种雷达化显示,而风险信息的捕获和处理,有许多工作尚待展开。图3说明,仅仅就显示风险来说,风险雷达相对风险矩阵而言,并无新意。

自然灾害类风险		后果					后果					事故灾难类风险	
		影响 很小	一般	较大	重大	特别 重大	特别 重大	较大	一般	影响 很小			
可能性	极少发生	低	低	中	高	高	高	中	低	低	极少发生	可能性	
	不太可能发生	低	低	中	高	高	高	中	低	低	不太可能发生		
	可能发生	低	中	高	高	高	高	中	低	低	可能发生		
	很可能发生	中	高	高	高	高	高	高	中	高	很可能发生		
	肯定发生	高	高	高	高	高	高	高	高	高	肯定发生		
	肯定发生	高	高	高	高	高	高	高	高	高	肯定发生		
可能性	很可能发生	中	高	高	高	高	高	高	中	高	很可能发生	可能性	
	可能发生	低	中	高	高	高	高	中	低	中	可能发生		
	不太可能发生	低	低	中	高	高	高	中	低	低	不太可能发生		
	极少发生	低	低	中	高	高	高	中	低	低	极少发生		
公共卫生类风险		后果					后果					社会安全类风险	
		影响 很小	一般	较大	重大	特别 重大	特别 重大	较大	一般	影响 很小			

图3 风险雷达和风险矩阵均可显示风险

## 2 认知风险和真实风险的区别

广义上讲,“风险”是一个哲学概念,世界上原本并没有一个叫做“风险”的东西,只是我们把某种东西叫做“风险”。这种主观属性,常使“风险”掉进逻辑的陷阱之中,引发形形色色风险定义的混战,有时只能靠着绕口令似的逻辑把人们绕得晕头转向才得以苟且偷生。

技术上讲,“风险”是与某种不利事件有关的一种未来情景<sup>[8]</sup>,具有客观性,不依靠意识而存在。但是,人们对风险的认识,却离不开人的意识。虽然世界不因我们的耳朵聋了而无声,也不因我们的眼睛瞎了而没有光明和色彩,但没有听力的世界就是无声世界,眼睛近视了或者是老花了,那么我们的世界就变得模糊。我们认识的世界,仅仅是客观世界的一个影像。

在我们所认识的世界中的风险,本文称之为认知风险;在客观世界中的风险,称之为真实风险。由于风险的未来属性,要使认知风险逼近于真实风险,相当困难。鉴于此,人们引入了大量不确定性分析工具,力图在统计意义上有所捕获。于是,出现了风险的“可能性”之说。对此,需要更高水准的绕口令,才能让人们似而非地大体知道什么是“可能性”风险。

一个认知风险的例子是,某建筑物建于一个地震区内,人们用能得到的地震数据和包括场地、

结构、价值等建筑物的数据,计算出该建筑物在保险期内损失的期望值。这里,地震灾害风险的内涵是损失的期望值。我们是通过收集到的数据,并在风险分析模型的帮助下来认知风险的。

这个认知风险背后的真实风险是什么呢?是保险期内的真实损失。它是与地震事件有关的一种未来情景。无论损失如何,都是客观的。事件发生后,可以较为客观地度量这种损失。

显然,对于现实问题,人们不可能穷尽所有相关数据,风险分析模型又均有局限性,所以认知风险常常不等于真实风险。一种特殊的情况是,一个很简单的系统,人们恰好能穷尽所有相关数据,风险分析模型又非常有效,认知风险等于真实风险。也就是说,人们能刻画出指定时间点上的情景,这就是精确预测,称为伪风险。例如,光滑桌面上一个匀速运动的钢球,当其滚向下方放有一框鸡蛋的桌边时,人们能从时间、强度上刻画出鸡蛋被砸碎的情景。

为了对认知风险和真实风险进行形式化描述,不失一般性,我们将未来可能发生不利事件 $\omega$ 的系统 $G$ 称为一个风险系统,记为 $\langle G; g_t | t \in T, \omega \rangle$ 。其中, $g_t$ 是 $t$ 时刻的情景, $T$ 是人们所关注的未来时间段。

**定义1** 设 $g_t$ 是关于不利事件 $\omega$ 的风险系统 $G$ 在未来 $t$ 时刻的情景, $T$ 是人们所关注的未来时间段。集合 $R_\omega = \{g_t | t \in T\}$ 称为关于 $\omega$ 的真实风险。

例如,以2014年的最后一刻为过去、未来的时间分界点,设 $g_t$ 是四川省汶川县映秀镇关于地震灾害在未来第 $t$ 年的情景, $T$ 是2015至2064时间段,则 $g_1$ 和 $g_{50}$ 分别是该镇2015年和2064年的地震灾害情景。于是,该镇关于地震灾害的真实风险为 $R_{\text{Earthquake Disaster}} = \{g_1, g_2, \dots, g_{50}\}$ 。显然,只有到2064年的最后一刻,我们才能知道此 $R$ 。

任何自然灾害风险分析的工作,其实都是试图在事前,用能够收集到的数据、已有的知识和适当的数学工具,对 $R_\omega = \{g_t | t \in T\}$ 进行逼近。特别是,当人们没有能力对各时间点上的 $g_t$ 进行逼近时,问题常常被简化为对这些集合元素的统计特征,即概率风险的研究。由于收集数据 $D$ 及研究和选用数学模型 $M$ 已融合了大量人类知识,对真实风险的逼近,可以视为将数据 $D$ 代入模型 $M$ 得到的结果。这里 $D$ 和 $M$ ,是广义的数据和模型,可以很简单,也可以非常复杂。于是,我们有“认知风险”的形式化定义如下:

**定义2** 关于不利事件 $\omega$ 的风险系统 $G$ ,假定相关的数据 $D$ 代入模型 $M$ 后,得到的结果 $\bar{R}_\omega = M(D)$ 能对真实风险 $R_\omega = \{g_t | t \in T\}$ 进行逼近,我们称 $\bar{R}_\omega$ 为认知风险。

例如,假定将映秀镇所在地震区的历史地震资料 and 地震地质资料、该镇的工程地质资料、现有建筑物及社会经济资料等,组成数据 $D$ ,代入合适的地震活动性模型、地震危险性分析模型、地基分析模型、震害预测模型、社会经济分析模型等组成的大模型 $M$ ,可对该镇未来30年内的地震灾害进行期望

值意义下的预测,其结果就是认知风险。

### 3 动态风险的界定

在一个变化系统中,只要时间段  $T$  不是很短,情景  $g_t$  必会随时间  $t$  而变化,即  $g_t$  呈现动态。相应的  $R_\omega = \{g_t | t \in T\}$ ,我们称为真实动态风险。换言之,变化的真实风险,就是真实动态风险。

人们自然会想到,变化的认知风险就是认知动态风险。如果能在情景  $g_t$  层次上,而不是时段  $T$  的统计意义上逼近  $R_\omega$ ,我们就能认知动态风险。似乎只要在以往风险分析模型中加入时间因素,静态模型可进化为动态模型。然而,这种模型维度拓展,常常是失败的。例如,任何古典概率的模型都不能通过加入时间因素来研究随机过程。又如,结构动力学中因振动而产生的惯性力和阻尼力,不能用结构静力学模型加入时间因素来描述。

事实上,面对一个给定的风险系统,当人们努力认识风险时,并不知真实风险为何物,因为真实风险将在一定时段后才能得到确认。人们之所以有时能对真实风险进行统计意义上的认识,是不自觉地假定了风险系统的过去和未来在关注的不利事件情景方面有相同的统计性质。所有的概率风险分析模型,只有在这一假定之下才能用历史资料来进行分析。这就是前述的平稳马尔可夫随机过程假定。这一假定掩盖了风险的动态性。同时也说明,仅用历史资料,人们无法认识动态风险,即使历史资料可以加入时间标记。

与“真实动态风险”概念相对应,下面我们提出“认知动态风险”的概念。

理论上讲,如果我们能用由数据和模型算出的  $\tilde{g}_t$  对  $g_t$  进行逼近,则可称  $\tilde{R}_\omega = \{\tilde{g}_t | t \in T\}$  为“认知动态风险”。然而,如何由数据  $D$  和模型  $M$  得到一个具体的  $\tilde{g}_t$ ? 这才是问题的实质所在。大多数情况下,我们根本无法对给定的时间  $t$  点计算出  $\tilde{g}_t$  来,除非是一个可以预测或统计预测的系统。我们必须换一种思路来考虑问题,才能既不是简单地加入时间因素,又能用到数据和模型,还能使风险“动”起来。这就要在“认识”二字上找突破口。

人类对现象进行描述,称为“认识”。认识始于人们对现象的划分,进而上升到考虑各种现象之间的相互关系。人们对风险的认识,离不开对危险物和非危险物的划分,进而考虑风险源和风险承受体与不利事件之间的相互关系。特别地,当人们考虑到风险源和风险承受体的变化时,对风险的认识,就是动态认识。

随机变化,是人们谈论得最多的风险系统的“变化”,并使用概率统计的理论和方法对其加以认识,进而用统计特征(例如期望值)来量化风险。尽管不同的人,在不同情况下,在不同的时间,对同一风险的认识往往不同(例如,2008年汶川8.0级大地震后的10年,即2018年,汶川地震灾害的风险是什么?地震专家和当地居民的认识会不同;心情不同则认识会不同;在2008年和在2014年的认识会不

同),但在约定的数据和模型下,随机变化的统计特征却是唯一的。并且,许多人认为,正是因为有变化,而且是随机变化,导致未来不利事件只能从统计意义上进行描述,而不能较精确地计算出系统  $G$  在未来  $t$  时刻的不利事件  $\omega$  的情景  $g_t$ ,才有风险现象(如能精确,则是伪风险)的存在。于是,人们在系统分析理论中发展出风险分析论,或称为随机系统论,即用概率统计模型  $M$  来认识由于随机变化产生的风险现象。然而,一旦用统计特征规律化系统的变化,风险就被静态化,风险的动态属性就被掩盖得无影无踪。事实上,大多数风险,一直在变化,不可能用统计特征将其静态化。例如,北京地区的雾霾健康风险,不可能用任何的统计模型  $M$  将其静态化,而是随着政府管治措施的变化而变化。如果试图用国外的雾霾管治历史资料来计算北京地区未来5年内的雾霾健康风险,将没有意义。

显然,对风险的动态“认识”,并不是对风险系统随机变化规律的认识,而是对风险源和风险承受体的综合环境和内在变化的认识,进而通过耦合作用,认识风险是如何随之而变。据此,我们给出“认知动态风险”的定义如下:

**定义3** 设不利事件  $\omega$  的风险系统  $G$  随着综合环境  $E$  和内在属性  $C$  的变化而变化。假定其变化是通过对风险源  $S$  和风险承受体  $O$  的影响而实现。设“ $\otimes$ ”是我们通过耦合  $S$  和  $O$  而认识风险的某一数学算子,我们称  $R_\omega(E, C) = S_{(E, C)} \otimes O_{E, C}$  为认知动态风险。

例如,1998年长江特大洪水后,我国政府投入巨资加固了长江堤防并在上游大面积退耕还林,不利事件  $\omega$ (水灾)的风险系统  $G$ (天气系统和长江流域社会经济系统)的综合环境  $E$ (水土保持)和内在属性  $C$ (堤防)均发生了很大的改变,风险源  $S$ (洪水)发生了变化,从而长江流域的洪水灾害风险也必将发生变化,由  $R_\omega$ (水土保持,堤防)表达的风险,是一种认知动态风险。如果考虑全球气候变暖和社会经济系统的变化,风险的动态性会更明显。它们均是对真实动态风险  $R_\omega = \{g_t | t \in T\}$  的某种逼近。

再例如,2014年5月底,气象部门发出了北京市大风预警,大兴区庞各庄镇的个别瓜农采取了对西瓜藤蔓及时压土的防御措施,改变了不利事件  $\omega$ (风灾)的风险系统  $G$ (天气系统和西瓜地)的内在属性  $C$ (抗风能力)。由  $R_\omega$ (抗风能力)表达的风险,也是一种认知动态风险。

风险系统的综合环境和内在属性的变化,不仅改变着风险源激活的随机性,也改变着风险承受体的脆弱性。当我们随机抛掷一枚质地均匀的硬币时,其落地后正面朝上的概率是0.5。一旦我们在该硬币的某一面粘上一小块口香糖,抛掷而落地后正面朝上的概率将发生变化。这种随机性质的改变,与时间没有关系,只与是否粘上口香糖有关系。当我们在1976年唐山大地震后对北京市的大量住宅进行加固后,就大大降低了这些建筑物的地震脆弱性。这种脆弱性的改变,与时间没有关系,只与是否

进行了加固有关系。

定义3中所指的“耦合”,英文为“Coupling”。两个对象“风险源 $S$ ”和“风险承受体 $O$ ”在一起叫做“耦”。它们经某一算子结“合”而变成“风险”,叫做“耦合”。当我们用不利事件 $x$ 发生的概率密度函数 $p(x)$ 刻画 $S$ ,用关于 $x$ 的易损性函数 $f(x)$ 刻画 $O$ ,并界定“风险”的内涵为损失期望值时,用于耦合 $S$ 和 $O$ 而认识“风险”的算子,就是 $f(x)$ 乘 $p(x)$ 并积分。

综上所述,我们界定的动态风险,是指随系统变化而变化,并且不能用统计特征平均化的风险。动态风险的变因,是综合环境和内在属性的变化,而不是时间的变化。时间,只是标定系统变化前后的一个工具。耦合算子不仅与我们对风险源和风险承受体的描述有关,更与风险的内涵有关。

## 4 动态风险分析的基本原理

动态风险分析,就是用某种手段认知动态风险。动态风险分析中带有普遍性的、最基本的、可以作为一种理论和方法之基础的规律,称为动态风险分析的基本原理。为此,我们先回顾一下“风险分析的基本原理”是如何建立的。

文献[1]中通过对环境危害、食品安全、生产安全、项目投资、金融系统、保险业、自然灾害、信息技术等八个领域中的主要风险问题和常用分析方法进行剖析,归纳出5种主要的风险分析方法:①发生概率计算法;②暴露评价法;③危险辨识法;④期望值计算法;⑤经验合成法。并指出这些分析方法有下述三个共同点:

(1)明确具体风险内涵,框定风险问题涉及的系统;

(2)涉及风险源、影响和后果;

(3)进行不确定意义下的量化分析。

在此基础上,并根据多年的研究心得,笔者总结出了风险分析的基本原理:明确风险内涵和涉及的系统,正视风险源、影响场和作用对象的复杂性和不确定性,从最基本的元素着手分析,对其进行组合,进行不确定性意义下的量化分析。

显然,动态风险是风险的一种,其分析的基本原理,应该是风险分析基本原理的一种深化。针对定义3界定的认知动态风险,我们自然地提出了动态风险分析的基本原理:明确动态风险内涵和涉及的系统,研究综合环境和内在属性变化对风险源和风险承受体的影响,通过对变化中的风险源和风险承受体进行耦合,进行不确定性意义下的动态系统量化分析。

这里的“动态风险内涵”是指具体的动态风险,既要明确风险是指什么,更要明确动态是因什么而动,并以描述动态风险情景某一个或几个具体侧面的相关量化指标来体现。例如,如果风险是指损失的期望值,动态是因时间而动,则风险源强弱、风险承受体脆弱性、综合环境参数、内在属性参数、“损失”和“期望值有效时间长”等等,都是描述动态风险情景的量化指标。这里,不同时期期望值是描述

动态损失风险情景的一个侧面。

动态风险涉及的系统是指,该系统至少能用于描述风险源、风险承受体、综合环境和内在属性。例如,宏观的台风动态风险系统,应该由相关的洋面、台风影响区域、按月而分的时间空间、区域内预警和应急系统等组成。无论是各月份台风登陆频度不同,还是社会发展使预警和应急能力不同,都会使台风风险不同。从针对年度台风风险的研究,细化到针对月内台风风险的研究,我们对台风风险的认识,有望从静态上升到动态。

显然,动态风险分析,需要更多的人类知识和观测数据来支持,否则极有可能用精细的理论,却给出荒谬的结论。为避免这种现象的发生,我们须正视人类知识的局限性,遵循“知其一,不谬知其二”的基本原则,区别认知风险和真实风险,界定较为合适的系统,对动态风险进行描述。

## 5 结论和讨论

时段、空间、强度,是完整刻画风险的三要素。今天,大多数自然灾害风险图,没有时效性。一劳永逸式的,用历史数据资料进行风险评估的工作,仍是主流。现实中,随着自然环境的变化和人类社会的发展,风险必有变化。建设规划中用的风险图,时效性应该比较长;财产保险用的风险图,应经常更新;支撑灾害应急管理用的风险图,则应该具有实时跟踪,及时预警的功能。风险的复杂性问题,大多源于其动态变化。应对全球气候变化,促进区域可持续发展,人们必须面对动态风险,建立触及动态风险本质的分析理论和方法体系。

人们对风险的动态“认识”,并不是对风险系统随机变化规律的认识,也不是对风险在时间轴上惯性变化的认识,更不是用风险雷达替代风险矩阵显示风险,而是对风险源和风险承受体变化的认识,进而可通过耦合风险源和风险承受体,认识动态风险。今天,人们所能研究的,仅仅是认知动态风险,而非真实动态风险,因为人们能捕捉到的风险信息太少,用于描述风险的数学模型太乏力。

针对认知动态风险,我们可将风险分析基本原理发展为动态风险分析的基本原理,其核心是“研究综合环境和内在属性变化对风险源和风险承受体的影响”,局限于能用“风险源和风险承受体耦合”生成的认知动态风险。

由于篇幅所限,作者将另文介绍应用基本原理得到的一个形式化模型,并另文介绍一个虚拟的台风动态风险案例。

今天,我国已全面进入风险社会。自然灾害没有减缓的势头,安全生产形势严峻,环境污染严重,社会矛盾明显增多,东海南海局势升级,暴恐事件时有发生,风险的动态性更加明显。在建立动态风险分析理论和方法的同时,借网络时代的大潮,建立用互联网<sup>[28]</sup>驱动的风险雷达,实现动态风险的网络化管理,必大大有助于提高我国防灾减灾和应急管理的能力。

## 参考文献：

- [1] 黄崇福. 自然灾害风险分析与管理[M]. 北京：科学出版社，2012：43.
- [2] Holzmah H. Martingale approximations for continuous-time and discrete-time stationary Markov processes [J]. Stochastic Processes and their Applications. 2005, 115(9): 1518–1529.
- [3] Karl Thomas R, Gerald A Meehl, Christopher D Miller, et al. Weather and climate extremes in a changing Climate: Regions of focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U. S. Pacific Islands [R]. Washington, DC: UNT Digital Library, 2008.
- [4] 孙殿阁, 孙佳, 王森, 等. 基于 Bow-Tie 技术的民用机场安全风险应用研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2010, 6(4): 85–98.
- [5] Khakzad N, Khan F, Amyotte P. Dynamic risk analysis using bow-tie approach[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2012, 104: 36–44.
- [6] Ebeling C E. An introduction to reliability and maintainability engineering [M]. 2nd ed. New Delhi: McGraw Hill, 1997.
- [7] Siu N O, Kelly D L. Bayesian parameter estimation in probabilistic risk assessment [J]. Reliability Engineering and System Safety, 1998, 62: 89–116.
- [8] Huang C F, Ruan D. Fuzzy risks and an updating algorithm with new observations [J]. Risk Analysis, 2008, 28(3): 681–694.
- [9] 黄崇福. 内集-外集模型的计算机仿真检验[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(3): 62–70.
- [10] Goble R, Bier V M. Risk assessment can be a game-changing information technology-but too often it isn't [J]. Risk Analysis, 2013, 33(11): 1942–1951.
- [11] 赵秀恒, 王清印, 王义闹, 等. 不确定性系统理论及其在预测与决策中的应用[M]. 北京：冶金工业出版社, 2010: 74–75.
- [12] 庞西磊. 自然灾害动态风险分析基本模式的探讨及其应用研究[D]. 北京：北京师范大学, 2012.
- [13] Huang C F, Shi Y. Towards efficient fuzzy information processing—using the principle of information diffusion[M]. Heidelberg: Physica-Verlag (Springer), 2002.
- [14] 陈文俊. 企业财务的风险雷达预警管理[J]. 求索, 2005(4): 52–54.
- [15] 李固. 风险雷达 2010 [J]. 21 世纪商业评论, 2010(9): 26.
- [16] Vagadia B. Enterprise governance: Driving enterprise performance through strategic alignment [M]. Heidelberg: Springer-Verlag, 2013: 62.
- [17] Jovanović A S, Löscher M. iNTeg-Risk project: How much nearer are we to improved “Early Recognition, Monitoring and Integrated Management of Emerging, New Technology Related Risks”? [R]. Stuttgart, Germany: European Virtual Institute for Integrated Risk Management, 2013.
- [18] 秦炳军, 张圣坤. 动态过程风险评估方法[J]. 上海交通大学学报, 1998, 11(32): 17–20.
- [19] Berend R, Schumacher J M. Time consistency conditions for acceptability measures with an application to tail value at risk [J]. Insurance Mathematics and Economics, 2007, 40(2): 209–230.
- [20] Cvitanović J, Karatzas I. On dynamic measure of risk [J]. Finance and Stochastics, 1999, 3(4): 451–482.
- [21] Evstigneev I V, Hens T, Schenk-Hoppé K R. Evolutionary stable stock markets [J]. Economic Theory, 2006, 27(2): 449–468.
- [22] Weber S. Distribution-invariant risk measures, information and dynamic consistency [J]. Mathematical Finance, 2006, 16(2): 419–441.
- [23] 王飞, 尹占娥, 温家洪, 等. 基于多智能体的自然灾害动态风险评估模型[J]. 地理与地理信息科学, 2009, 25(2): 85–88.
- [24] 黄蕙, 温家洪, 司瑞洁, 等. 自然灾害风险评估国际计划述评 II—评估方法[J]. 灾害学, 2008, 23(3): 96–101.
- [25] Blaikie P, Cannon T, Davis I, et al, B. At risk: Natural hazards, people's vulnerability, and disasters [M]. London: Routledge, 1994.
- [26] 顾明, 赵明伟, 全涌. 结构台风灾害风险评估研究进展[J]. 同济大学学报：自然科学版, 2009, 37(5): 569–574.
- [27] Kumar V, Rachel A D. Application of a regional hurricane wind risk forecasting model for wood-frame houses [J]. Risk Analysis, 2007, 27(1): 45–58.
- [28] Huang C F. Multiple internet of intelligences for risk analysis [J]. Journal of Risk Analysis and Crisis Response, 2014, 4(2): 61–71.

## Exploration on the Basic Principles of Dynamic Risk Analysis in Natural Disasters

Huang Chongfu<sup>1, 2, 3</sup>

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education of China, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education, Beijing 100875, China)

**Abstract:** With the changes in the natural environment and the development of human society, the risk of natural disasters will inevitably change. A changing risk is called as a dynamic risk. This article outlines the research status of dynamic risks and points out that the update algorithms and trend forecasting methods are only suitable to study the dynamic risks due to inertia, which do not touch the nature of dynamic risks, and we define the dynamic risks with the changes in integrated environmental and intrinsic properties. People can study only the perceived dynamic risk. The basic principles of dynamic risk analysis are proposed. The key tasks are to study the effects of the changes in integrated environmental and intrinsic properties on risk sources and risk-bearing bodies, and how coupling of risk sources and risk-bearing bodies.

**Key words:** dynamic risk; perceived risk; real risk; integrated environment; intrinsic property; coupling