

Time Limit of the Probabilistic Risk for Natural Disaster*

Jun Guo^{1,2}, Chongfu Huang^{1,2,†}

¹ Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education of China,
Beijing Normal University, Beijing 100875, China

² Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education,
the Peoples' Republic of China, Beijing 100875, China

Received 14 June 2017

Accepted 21 July 2017

Abstract

Since natural disaster risk is a feature of the future and is also dynamic, the result of probabilistic risk analysis for natural disaster has its own time limit. Considering that risk is for the future and meanwhile dynamic, the result of probabilistic risk analysis in natural disaster could just represent risk for a limited time, which is the timeliness of probabilistic risk. Besides, the length of the timeliness is just called the period of validity of probabilistic risk for natural disaster. Because the system of natural disaster risk is complex and comprehensive, the dynamics of natural disaster risk is caused by numerous reasons related to both natural and social environment and is with great uncertainty. Therefore, qualitative analysis could be a feasible method for the timeliness evaluation of probabilistic risk for natural disaster.

Keywords: Natural disaster, Probabilistic risk, Time limit, Period of validity

自然灾害概率风险及其时效性

郭君^{1,2}, 黄崇福^{1,2}

1. 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, 中国

2. 民政部/教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875, 中国

摘要: 由自然和社会组成的自然灾害风险系统是一个变化的系统, 因此不存在一劳永逸的风险分析结果。风险分析结果的有效性只能维持一定的时间长度, 即风险分析结果具有时效性。概率分析方法作为一种常用的自然灾害风险定量分析方法, 其结果, 必然具有时效性。考虑到风险是面向未来的和动态变化的, 在具体的研究目标设定下, 概率风险仅能表征未来一定时间长度的灾害风险, 该特性即为自然灾害概率风险的时效性, 该特定的时间长度称为其有效期。由于自然灾害风险系统的复杂性和综合性, 造成自然灾害风险动态变化的原因众多、存在着极大的不确定性, 通过定性分析出相关因素发生较大变化所需的时间长度并进一步选定其中最快因素的时间长度, 作为自然灾害概率风险有效期的最大值, 可为自然灾害概率风险的时效性评价提供可行办法。

关键词: 自然灾害, 概率风险, 时效性, 有效期

* This project was supported by the National Natural Science Foundation of China (41471426,41671502).

† Corresponding author: E-mail: hchongfu@bnu.edu.cn. Post address: Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Beijing Normal University, No.19 Xijiekouwai Street, Beijing 100875, China

1. 引言

自然灾害是由自然事件或力量为主因造成的生命伤亡和人类社会财产损失的事件。由于未来的自然灾害难以精确预测，对其进行的不确定意义下的量化分析，称为自然灾害风险分析。由自然和社会组成的自然灾害风险系统是一个变化的系统，因此不存在一劳永逸的风险分析结果，风险分析结果的有效只能维持一定的时间长度，即风险分析结果是有时效性的。例如，假定存在某种较为可靠的方法，在 2000 年能分析出四川省汶川县映秀镇未来十年面对的地震风险，即 2001 年到 2010 年内的地震风险。那么，2008 年汶川大地震后，在 2000 年分析出的地震风险，将不再适用于 2009 年和 2010 年。也就是说，当地的地震灾害系统发生了巨大变化，人们曾经分析出的风险结论必然失效。

如今，人们耗巨资进行了从全球尺度到村落尺度的大量自然灾害风险分析工作，绘制了相应的自然灾害风险图，然而很少有制作者能向用户提供其风险图保持有效的时间长度也即其有效期。如同失效的食品会影响食用者的身体健康，失效的自然灾害风险图也会给使用者带来额外的风险。

在实际中，为淘汰陈旧的自然灾害风险图，一些研究机构或人员会对其进行更新。例如，Bündnis Entwicklung Hilft 公司与联合国大学环境与人类安全研究所从 2011 年开始每年发布一个世界灾害风险指数 (World Risk Index) 报告，内容包括世界上 170 多个国家由暴露度、敏感性、应对能力和适应性的多个指标构成的灾害风险指数分布图^[1]，每年根据获得的最新数据情况对相应的指标进行更新，获得新的世界风险指数分布图；美国地质勘探局 (USGS) 根据最新的研究成果、观察资料等，从 1976 年美国第一张地震危险性概率区划图发布以来，分别于 1990 年、1996 年、2002 年、2008 年、2014 年和 2016 年对其进行了更新^[2]。在我国，从新中国成立以来到现在，随着地震台网观测数据的积累、理论方法研究的深入及重大地震灾害的催生，地震区划图于 1957 年、1977 年、1992 年、2001 年、2016 年分别进行了五次更新，第五代区划图于 2016 年 6 月 1 日起在全国正式实施；而为了适应 2008 年汶川特大地震后的恢复重建工作的需要，基于对地震灾区的新资料和新认识，特就汶川地震灾区的地震动参数区划图进行了局部更新^[3]。同时，也有学者研究了不同时段的风险的确存在差异。例如，庞西磊依据不同的五年计划来划分历史数据，分析显示“七五”到“十二五”期间汕头市城市人口面临的暴雨洪涝灾害风险存在差异^[4, 5]；蒋卫国等分析的马来西

亚吉兰丹州洪水灾害风险指数分布在 1990 年和 2000 年是不同的^[6]，路明浩指出安徽省沿江地区 1990、2000 和 2007 年的风险指数分布存在差异^[7]，苏飞等研究表明 1979、1990、2000 和 2009 年在不同洪水强度下黄浦江流域的洪灾风险等级显著不同^[8]。

上述实践工作和理论研究表明了风险分析结果存在时效性。同时，也有部分研究者关注了度量灾害风险时效的问题。例如，苏桂武和高庆华依据风险载体的“价值”存在时间期限，定性给出了不同载体的灾害风险有效时间尺度^[9]；赵思健概述了综合考虑致灾因子、孕灾环境、承灾体的有效时间长度而确定自然灾害风险评估的有效时间广度，并定性分析了不同灾种的风险有效时间长度^[10, 11]。

然而，已有研究并没有给出时效性的具体研究。由于自然灾害风险分析的方法众多，从普通预测方法到复杂系统分析法，从概率分析法到层次分析法，不同方法依据的原理不同，得到的风险分析结果所具有的时效性的具体内涵必然是不同的，而现有的研究只是模糊地、一概而论地表达为自然灾害风险的有效时间长度等概念。在众多方法中，概率分析法是自然灾害风险分析中最常用的定量分析方法，主要原因是自然灾害事件大量出现，可将自然灾害看做随机事件继而采用概率统计方法而得到灾害事件统计特征值来表征风险^[12]，尤其是用期望损失值作为风险值，具有明确的物理意义。

鉴于此，本文就概率风险的时效性展开研究，以为风险更新等动态风险管理提供理论参考。首先，本文从风险的系统性出发，介绍了自然灾害概率风险的形式化模型和应用模型；继而，界定了自然灾害概率风险的时效性内涵；最后，给出了自然灾害概率风险时效性评价的形式化表达。

2. 自然灾害概率风险

根据其数学形式的具体化程度，风险分析模型可分为“概念化模型”、“形式化模型”和“应用模型”^[12]，如下从上述三个层次对自然灾害概率风险进行分别介绍。

2.1. 自然灾害风险的概念化模型

从系统论出发，自然灾害风险是风险源和风险承受体综合作用的结果^[12-14]。

风险源是指引发损害（包括人员伤亡、经济损失、物体破坏等）的原因，构成了风险的诱因，在自然灾害领域通常称为致灾因子。为了突出风险的研究主体，本文统一称作风险源。自然灾害风险源

是可能造成损害的自然事件、力量或过程^[15]，是自然灾害风险是否存在的先决条件。例如，《国家综合减灾“十一五”规划》中列出了我国常发生的 13 种自然灾害风险源：洪涝、干旱、台风、风雹、雷电、高温热浪、沙尘暴、地震、地质灾害、风暴潮、赤潮、森林草原火灾和植物森林病虫害^[16]。

风险承受体是风险源的作用对象和受体，存在风险源但没有风险承受体时不能构成风险，在自然灾害领域通常称为承灾体。同样地，本文统一称作风险承受体。概括地，自然灾害风险承受体包括人类自身及其构筑物，例如人口、财产、建筑物、农作物、基础设施以及地域综合体等^[13]。

风险源和风险承受体在灾害风险中的各自作用和特性，决定了两者成为自然灾害风险分析的两个基本组成成分，自然灾害风险的基本模式^[12]可以概括为^[17-19]：

$$R = H \circ D \quad (1)$$

其中 H 代表风险源、 D 代表风险承受体、“ \circ ”表示合成方法。这一基本模式，是一个概念化模型。采用不同的方法确定 H 、 D 和“ \circ ”，可以得到不同的自然灾害风险分析的形式化模型。例如，指标体系法，通过选取 H 和 D 的多个表征指标，使用加权综合等方式作为合成方法“ \circ ”；而概率分析方法，利用风险源的发生规律表示 H 、风险承受体的脆弱性表示 D ，采用概率统计方法获取 H 和（或） D ，使用微分求和等方式作为合成方法“ \circ ”。

需要说明的是，通常表述中的“自然灾害风险”指的是一定区域的自然灾害风险。自然灾害的发生与发展须依附于一定的地理单元^[20]，也就是说，提到“干旱、台风、冰雹的发生规律”等，必然是指某一地区的干旱、台风、冰雹的发生规律。同时，自然灾害风险承受体的分布和抗灾能力也有着明显的空间差异，同样地，当提到“小麦的干旱风险、建筑物的地震风险”等时，必然是针对某一地区的上述承受体的风险。也就是说，采用某种方法评估得到的自然灾害风险，一定是针对某一地理单元的，因此自然灾害概率风险也必然如此。由于人们对自然灾害风险的地理属性共识性较高，因此在表述中往往省略区域的限定，直接表达为某自然灾害风险，本文也是采用默认的方式表述自然灾害概率风险。也就是说，本文中的自然灾害风险、自然灾害概率风险等均指某地区的风险。

2.2. 概率风险的形式化模型

由于自然灾害事件时而发生、时而不发生的外在表现，自然灾害事件可以被看作随机事件^[21]，用于描述随机现象的概率论等数理统计方法被用于自

然灾害风险的评估中。自然灾害概率风险评估方法的出发点是将自然灾害事件看作随机事件，采用概率统计等数理方法研究灾害事件的相关规律，最后使用某些统计指标作为风险的度量，如超越概率、期望损失值、最大可能损失值等^[22-25]。

基于基本模式(1)，利用风险源的发生规律 $P(x)$ 表示 H 、风险承受体的脆弱性 $F(x)$ 表征 D ，一般地选用损失程度的期望值为内涵，则积分或累加求和等方式作为合成方法“ \circ ”，如此可得到概率风险的形式化模型（见图 1）：

$$R = \int_{u_1}^{u_2} F(x)P(x)dx \quad (2) \text{ 式中，风险}$$

R 的内涵为灾害损失的期望值； x 为表征风险源强度的因子； $P(x)$ 为表征风险源发生强度取值的概率分布函数，通过使用历史灾害记录集构成的灾害强度样本集估计得到； $F(x)$ 为表征风险承受体的脆弱性函数，可以理解为灾害强度与损失的输入-输出函数关系，使用灾情记录集的灾害强度-损失数据对构成的样本集进行识别； u_1 、 u_2 为 x 的积分上、下限。

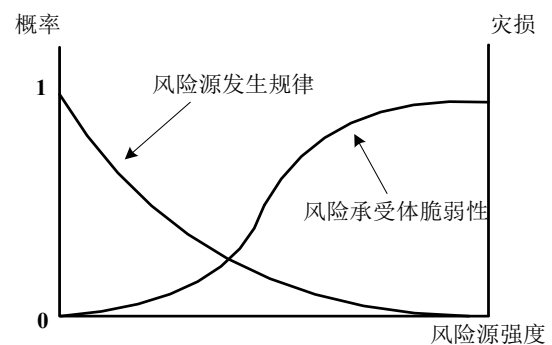


图 1 自然灾害概率风险的形式化模型示意图^[12]

3. 自然灾害概率风险的时效性界定

自然灾害风险是动态变化的，尤其是风险承受体的变化不可忽视。因此，基于历史记录得到的概率风险只能代表未来一定时间长度内的风险，即自然灾害概率风险具有时效性。由于风险的动态变化是自然灾害概率风险存在时效性的原因，这里先对风险的动态变化进行介绍，继而再说明概率风险的时效性概念。

3.1. 自然灾害风险的动态变化性

自然灾害风险的动态变化性是由其组成成分即风险源和风险承受体相关特性的动态变化决定，其中与人类主观能动性直接相关的风险承受体是变化速率最快的成分^[26-30]。

3.1.1. 风险源发生规律的动态变化性

尽管自然灾害风险源由自然环境的演变规律决定，然而人类的足迹早已布满世界的各个角落，现在的自然已远远偏离原始的自然，是人化的自然，人类活动对自然环境的影响不容置疑。由包括人类活动在内的生物过程引起的全球变化问题，在 1982 年首次提出之时便得到广泛响应，至今仍然是研究的焦点之一。尤其是在人类活动剧烈的几十年到几百年时间尺度上的全球变化问题，由于与人类社会可持续发展密切相关，更是研究的重点^[31]。

全球变化问题包括全球气候变化，如温室气体的增加、臭氧层空洞、酸雨增多等问题；也包括全球地表覆盖变化，如森林面积的减少、湿地的减少、人为修筑物覆盖面积的增加，等等。全球气候变化会导致极端天气灾害事件的发生频率出现变化，而全球地表覆盖变化可能会影响滑坡、泥石流等地质灾害的发生规律等。

3.1.2. 风险承受体脆弱性的动态变化性

人类活动的诸多方面都会影响风险承受体的脆弱性，如社会经济发展^[32]、土地利用布局的改变^[33]、执行建筑规范的变革、公民责任感的增强、保险制度的实施、所用材料和生产技术的改进等^[34]，尤其是有效防灾减灾措施^[27, 35]更是人类为降低脆弱性而主动采取的举措，因此风险承受体的脆弱性是动态变化的。

防灾减灾措施可以分为两类，即工程性措施和非工程性措施，兵库会议报告中也称为结构性措施和非结构性措施^[36]。结构性措施指为减少或避免危害可能带来的影响而进行有形实物的修筑或技术的实施行为，包括工程项目以及抵御和防御危害的结构和基础设施等。例如，人工加固边坡措施，如设置坡脚护墙、覆盖护网等阻止边坡滑动；建筑物的抗震、抗风加固结构的修筑等；人工影响天气技术，如人工增雨雪、防雹、消雨、消雾、防霜等措施。非结构措施指从政策、认识、知识开发、公众承诺、方法、机制等方面开展的防灾减灾行动，例如面对居民的灾害风险知识的宣传教育和灾害应急能力培训和灾害预警机制的完善等。

3.1.3. 自然灾害风险动态变化的特点

由于风险的未来性和不确定性，无法得到客观的灾害风险。基于历史记录使用概率分析方法等得到的概率风险结果是对客观灾害风险的一种近似估计，其潜在前提假设便是该结果能够表征未来的灾害风险（准确地表达应该为“能够表征风险”，因

为风险本身就是未来的，但为了突出其未来性，本文采用“未来的风险”等术语，特此说明。）。

自然灾害风险的动态变化性是必然的，从其对应概率风险表征客观灾害风险的有效性的影响效果来看，自然灾害风险的动态变化具有以下两个特点：

(1) 风险动态变化的凸显需要一定的时间长度理论上，自然灾害风险系统的变化可能时时刻刻存在。然而，鉴于客观灾害风险的不可准确获得性和概率风险计算结果的近似性，自然灾害风险的动态变化需要一定时间长度才能在概率风险分析结果上凸显，这也是概率风险分析方法有意义的前提基础。

如前所述，灾害事件具有低发生率性，为了获得研究灾害事件统计规律的样本数据，需使用过去一段时间长度内的灾害事件发生记录来求解其统计特征值，以此来表征灾害风险。由于风险是未来的又是动态变化的，概率风险有意义的前提假设便是历史记录所处的过去、当前以及要表征的未来三个时间段内灾害风险系统认为是相同或相似的。也就是，使用历史记录获得的灾害事件统计规律可以延展应用到未来一定时间尺度。由于概率风险采用灾害事件的统计特征值来表征风险，该潜在假设的成立便意味着灾害风险的动态变化需要一定时间长度才能在概率风险分析结果上凸显。事实上，灾害风险动态变化的上述特点是成立的。

一方面，由于自然环境演变过程缓慢，自然灾害风险源发生规律的变化往往需要较长的时间尺度。另一方面，相对来说，由人类自身决定或由人类主导的自然灾害风险承受体的变化速率非常快，而且人类活动的干预往往是显著性的，因此风险承受体的脆弱性会在相对较短的时间内发生显著的变化。例如，当一些措施以集中性、全面实施时，脆弱性的变化可能会以突变的形式出现，例如灾害预警机制可以在较短的时间得到全面实施，进而引起区域脆弱性函数出现突变^[37]；而当一些措施的实施需要一定的时间时，脆弱性的变化则需要一定的时间长度，例如新的建筑物材料在一个区域的全面普及需要一定的时间长度，那么经过该时间长度的推广后，区域建筑物的地震脆弱性则会发生显著变化，等等。然而，无论是突变还是渐变的形式，风险承受体脆弱性的变化必然需要一定的时间长度。也就是说，不管是缓慢的风险源发生规律的变化还是快速的风险承受体脆弱性的变化，都需要一段时间才能凸显，那么在该段时间内灾害风险系统是可以看做不变的。也即一个灾害系统的状态会持续一定的时间长度，因此在近似不变的时间长度内，基于历史记录得到的概率风险可以表征未来一定时间尺度的风险。

(2) 自然灾害风险系统动态变化的不可逆性

在人类可持续发展关注的时间尺度即几十年到几百年内，可以认为灾害风险系统是无后效性，即阶段 I 的状态只与阶段 I-1 的状态有关，而与其他状态无关。

自然灾害概率风险的研究目的是为人类社会发展的相关决策、规划等提供科学依据，例如研究区域灾害损失的均值表征的概率风险可为政府的救灾金储备提供依据，往往人类社会关注的时间尺度短则为几年、长可至几百年，则该时间长度便是自然灾害概率风险研究关注的时间长度。在几年到几百年的时间长度内，自然灾害风险的动态变化可认为不可逆的，一则人类认知范围内灾害发生和发展的自然孕育环境早已远远偏离了原始状态，二则风险承受体所处的人类社会环境的变化更是翻天覆地。

上述自然灾害风险动态变化的不可逆性，一方面决定了可用于评估概率风险的历史资料不可能过于久远，因为太久远的历史资料用作当前概率风险评估样本的有效性值得斟酌，例如我国改革开放前的灾害经济损失记录用于当前灾害风险分析的合理性值得怀疑，该问题便是用于概率风险分析的历史资料有效性问题^[37]；另一方面决定了评估得到的自然灾害概率风险结果只能表征距离当前最近的一定时间长度未来的风险，不再考虑更久远的未来，也就是说更久远的未来必然与当前的自然灾害风险系统不同，该问题便是本研究关注的自然灾害概率风险的时效性问题。

3.2. 概率风险的时效性

在新华汉语词典中，时效的解释为“在一定时间内能起的作用”，并列出的常用表达为“时效长、失去时效”^[38]。根据列出举出的常用表达以及在实际中的用法，“时效”有两层具体含义：一是“在一定时间能起的作用”，常用在“保证时效、失去时效、具有时效”等表达中；二是“能起作用的时间”，用于“时效长或短”等表达中。事实上，时效的两层含义是其分别侧重于时间和作用的两种表现，当然两者均同时包括随时间动态变化的特性和围绕某一目标的作用两个方面。

关于时效性的含义，词典并没有明确给出解释，然而可以确定的是时效性表达是一个特性。这里，根据“时效”的两层意思，可以确定出时效性的两个具体含义：第一，表示“在一定时间内能起作用”的性质，用于“快递、物流服务要保证时效性、不能失去时效性”等表达中，该含义侧重于对象应能起的作用；第二，表示“作用的发挥具有一定的时间限度”的性质，用于“新闻具有时效性、政策具

有时效性、时效性长”等表达中，该含义侧重对象起作用的时间有限。

如前所述，由于风险的未来性和不确定性，自然灾害概率风险的潜在假设是基于历史记录得到的概率风险结果能够表征未来的灾害风险。与此同时，自然灾害风险又是动态变化的，而且自然灾害风险的动态变化需经过一段时间才会在概率风险上凸显出来，因此可以认为自然灾害概率风险能够表征未来有限时间长度的灾害风险，超过该时间长度则认为概率风险失效。上述自然灾害概率风险与时间和对灾害风险表征的效用两个方面相关的特性，正符合时效性的第二层含义，因此称自然灾害概率风险具有时效性。

本质上，造成事物或现象具有时效性的根本原因可分为两类。一类是事物本身的生化、物理特性或者内部组分随着时间发生了变化，继而导致事物的效用逐渐降低直至消失。例如，药品或食品存在时效性是因为其所包含成分具有不稳定性，导致在放置的条件下其成分会随时间发生变化，进而导致药品的效力或食品的食用功能逐渐丧失。另一类是事物或现象所表征的对象随着时间发生了变化，继而导致事物或现象设计时被用来承担的作用变得减弱甚至丧失。例如，污染源监测报告具有时效性是因为污染源状况是随时间变化的、而监测报告是静态的，所以随着时间的变化已有的监测报告逐渐不能继续用来有效表征污染源状况，进而失去其应有的功能。

自然灾害概率风险存在时效性的原因属于第二类。由于概率风险是根据一定时间的历史记录所计算出的静态结果，其所刻画的自然灾害风险是动态变化的，因此随着时间的变化而导致概率风险不能继续有效表征灾害风险，也即失去应有的效用。

本文界定自然灾害概率风险时效性的内涵为：**自然灾害风险是动态变化的，针对具体的设定目标，基于历史记录的自然灾害概率风险具有仅能有效表征未来一定时间内的灾害风险的特性。**此外，根据“有效”的词典解释即“能达到预期目的或有效果”^[39]，有效期是指事物或现象改变到某一给定值而导致其原有的效果丧失所需的时间长度，**特将自然灾害概率风险时效性中的时间长度称为自然灾害概率风险的有效期。**在本研究中，自然灾害概率风险时效性评价是指对其有效期的估计，即估计“能起作用的时间”。根据“时效”的第二层含义，也可称为“时效评价”。然而为了不引起误解，本研究使用“估计有效期”来表示自然灾害概率风险时效性评价的任务。

需要指出的是，本文研究自然灾害概率风险时效性针对的是能够通过合适的历史记录、合理的

分析方法而得到的满足应用目标的概率风险结果，例如用于保险业务的期望损失情况等表征的概率风险分析结果。也就是说，本文假定能够得到这样一个满足应用需求的概率风险，并不研究通过哪些资料和方法可以得到满足要求的概率风险分析结果，而是假定得到的概率风险能够满足要求。此外，本文针对的概率风险也不是具体的分析结果，因为理论上存在着满足应用目标的概率风险分析结果在风险源发生规律和风险承受体脆弱性动态变化前后的是一样的情况，然而根据自然灾害风险动态变化的不可逆性，本文并不指具体的概率风险分析结果值，而是指其中任一组分的动态变化引起灾害风险的动态变化而造成概率风险的时效性问题。

4. 自然灾害概率风险时效性评价

本质上，药物的有效期是指药物的成分变化到一定阶段而失去药用价值时所需的时间长度，污染源监测报告的有效期是指污染源状况变化到与报告内容相差较大而报告不能用于指示当前状况时所需的时间长度。与之相似，自然灾害概率风险的有效期便是指自然灾害风险发生变化到一定程度而导致分析结果失去对灾害风险表征的有效性时所需的时间长度。分析灾害风险动态变化的时间演变情况可得到自然灾害概率风险的有效期，进而完成自然灾害概率风险的时效性评价。

4.1. 时效性评价的形式化表达

如前所述，自然灾害概率风险的时效性评价便是确定概率风险的有效期，自然灾害风险动态变化到一定程度所需的时间长度便是自然灾害概率风险的有效期。因此，自然灾害概率风险有效期的长短由自然灾害风险的变化速率决定。当自然灾害风险系统所涉及的综合环境或（和）内在属性变化速率快时，基于历史记录评估得到的概率风险与客观风险的偏离速度快，则概率风险的有效期限短；反之，概率风险的有效期限长。如此，概率风险有效期的形式化公式为：

$$T = \frac{R_0 - R_e}{v} \quad (2)$$

其中： T 表示概率风险的有效期限；

R_0 概率风险评估时灾害风险的状态；

R_e 表示灾害风险出现较大变化时的状态；

v 表示灾害风险动态变化的速率。

从具有有效期的典型物品即医用药物来看，单一成分的医用药物具有有效期的原因是生产出来的药品在一定储存条件下，随着时间的流失内部成分发生变化，导致能起药效的成分减小甚至完全消失

而失去效用。因此，单一成分药物的有效期便对应着起药效的成分变化到某一临界状态所需的时间长度。进一步地，对于多成分的医用药物，其效用是由多成分共同决定，药物失效的原因可能是一种成分变化到一定程度或者若干个成分同时变化到各自的某个程度。此时，导致药物具有时效性的情况更加复杂，其有效期的确定也变得困难。类比来看，由于自然灾害风险是风险源和风险承受体的综合结果，自然灾害概率风险具有时效性的原因与多成分的医用药物类似，其涉及多个组分的动态变化情况，即式(2)可具体为：

$$T = C \left(\frac{I_{s0} - I_{se}}{v_s}, \frac{I_{o0} - I_{oe}}{v_o} \right) \quad (3)$$

其中： T 表示概率风险的有效期限；

I_{s0} 概率风险评估时风险源的状态； I_{se} 表示风险源出现较大变化时的状态； v_s 表示风险源动态变化的速率；

I_{o0} 概率风险评估时风险承受体的状态； I_{oe} 表示风险承受体出现较大变化时的状态； v_o 表示风险承受体动态变化的速率；

C 表示导致灾害风险出现较大变化的风险源和风险承受体动态变化的各个可能情况的组合。

再进一步分析，引起风险源动态变化的原因涉及全球气候或地表覆盖变化等自然方面，而造成风险承受体脆弱性变化的原因则涉及生产材料（如建筑物材料、农作物品种等）、生产技术（房屋结构、农作物种植技术等）和多方面的防灾减灾措施（灾前预警能力、灾中应对、灾后救援等）等社会方面。因此，式(3)可分解为更具体组分的动态变化情况，即：

$$T = C \left(\frac{I_{10} - I_{1e}}{v_1}, \dots, \frac{I_{i0} - I_{ie}}{v_i}, \dots, \frac{I_{n0} - I_{ne}}{v_n} \right) \quad (4)$$

其中： T 表示概率风险的有效期限；

I_{i0} 概率风险评估时某组分状态； I_{ie} 表示该组分出现较大变化时的状态； v_i 表示该组分变化的速率；

C 表示导致灾害风险出现较大变化的各个组分动态变化的不同情况组合。

依据式(4)确定概率风险的有效期限，需确定其中的各个参数，即：第一，确定造成风险动态变化的诸组分即因素，也即确定 n ；第二，确定每个因素的变化情况，包括变化的速率 v_i 、初始状态 I_{i0} 和出现较大变化时的状态 I_{ie} ；第三，确定导致灾害风险出现较大变化的各组分变化情况的组合 C 。

如前所述，自然灾害风险系统涉及复杂的自然-社会系统，造成灾害风险动态变化的因素较多，因

此 n 的大小难以精确获得。此外，关乎自然（或）和社会系统的因素的动态变化难以准确确定，尤其是属于社会系统的因素，如前所述某些因素的变化形式可能以突变的形式呈现，此时要建立因素的动态变化状态方程，需考虑使用法国数学家勒内·托姆的突变理论^[40, 41]进行构建，其复杂程度可想而知，也即各因素的变化速率 V_i 等难以确定。而因素的多样性导致的复杂性和诸因素自身动态变化情况的难确定性等，决定了组合形式 C 的难获知性。

由此可知，无法得到自然灾害概率风险时效性评价的具体数学模型，也无法采用试验法确定概率风险的时效性，因此无法准确评价自然灾害概率风险的时效性，事实上也无需给出一个准确的评价结果^[42]。那么，在上述情形下，如何合理地开展自然灾害概率风险的时效性评价，为概率风险更新等动态风险管理工作提供理论参考呢？该问题便是本研究的关注点。

4.2. 时效性评价的一个应用模型

考虑到自然灾害概率风险时效性评价的高复杂性以及大致准确性，通过借助人智慧分析、综合、判断认知思维，对造成自然灾害风险动态变化的诸因素的变化情况进行判断，定性分析各因素出现较大变化的时间长度，找到最关键和最快因素的变化时间长度，作为自然灾害概率风险有效期不大于的时间长度而得到概率风险的区间限制，可作为自然灾害概率风险时效性评价的可行方法，为概率风险更新等工作的具体开展提供时机选择的理论参考。在条件允许、风险更新的成本不高的情况下，在概率风险有效期的区间范围内，更新越及时越好；在更新成本高时，概率风险的有效期的区间范围可作为更新时间间隔的时间范围限定参考，更新的时间长度不可长于区间的最大值。

之所以选择最快的因素是因为在一定程度上可以认为造成灾害风险动态变化的因素是独立的或者弱相关的，或者说各因素有着自身动态变化的主要动力。具体来看：

(1) 作为风险源的灾害事件的自然孕育规律的变化，在灾害风险管理关注的时间尺度内是由自然环境的演变主导，人类活动的影响占次要地位。例如，农作物品种的变化可认为不会改变暴雨灾害的自然孕育规律。当然，某些人类活动会影响风险源发生规律，例如人类对地表植被覆盖的改造活动是通过改变大气中二氧化碳的含量而间接引起极端天气事件的自然孕育规律的变化。

(2) 与社会系统相关的风险承受体脆弱性的变化，可认为主要由社会发展决定，当然也可能受风险源发生规律变化的影响。例如，极端降雨事件变

得频繁会促使人类更加天气学问题而可能加快应对洪涝能力的提高速率，然而人类对洪涝灾害的应对能力更大程度上受社会经济发展水平和科学认识水平的制约。

(3) 不同因素之间也可能存在一定程度上的弱相关，然而各个因素的变化有着自身的主要动力。例如人工影响天气技术的增强可能造成人类应对极端天气事件的意愿降低，然而人工影响天气技术的改变主要由相关技术的研究进展决定，而人类应对灾害事件的意愿由灾害认知水平、求生意愿等自身条件决定。

因此，在因素之间相互独立或者弱相关的基础上，由于其中某一或者若干因素的动态变化便会引起的自然灾害概率风险的失效，因此自然灾害概率风险的有效期必然不大于其中变化最快的因素发生较大变化所需的时间长度，如此可得到式(4)的一个应用模型：

$$T \leq \min(T_{I1}, T_{I2}, \dots, T_{Ii}, \dots, T_{In}) \quad (5)$$

其中： T 表示概率风险的有效期；

T_{Ii} 表示组分 I_i 发生较大变化所需的时间长度，可借助相关人员的认识定性分析而得到。

如此，式(5)的应用模型可作为自然灾害概率风险时效性评价的一个可行方法，获得自然灾害概率风险有效期的时间范围限制，为风险更新等动态风险管理工作提供理论值参考。

5. 结论

自然灾害概率风险分析方法的出发点是将灾害事件的发生与否看作随机事件，将历史灾害事件记录作为样本，采用概率统计等数理方法获得灾害事件的统计特征值来表征风险。从自然灾害风险的系统性出发，自然灾害概率风险是风险源发生规律和风险承受体脆弱性的综合作用结果。

由于其组成成分的动态变化性，自然灾害风险是动态变化的，继而导致基于历史记录的自然灾害概率风险具有只能在一段时间内能够有效表征风险的特性，超过该段时间则可认为概率风险失效，该特性便为概率风险的时效性，该段时间长度称为其有效期。

自然灾害概率风险的时效性评价便是对其有效期进行估计，也即估计灾害风险动态变化情况所需的时间长度。由于引起自然灾害风险动态变化的因素众多而且存在很大的不确定性，定性分析出相关因素发生较大变化所需的时间长度并进一步选定其中最关键和最快因素的时间长度，作为自然灾害概

率风险有效期不大于的时间长度而得到有效期的区间范围, 可为自然灾害概率风险的时效性评价提供可行办法。

参考文献

- [1] UNU-EHS (United Nations University- Institute For Environment And Human Security) World risk report. <http://weltrisikobericht.de/english/>.
- [2] 美国地质勘探局 (United States Geological Survey). <http://earthquake.usgs.gov/hazards/products/conterminous/>.
- [3] 高孟潭, 陈国星, 谢富仁, 等. 《四川、甘肃、陕西部分地区地震动参数区划图》编制. 国际地震动态, 2008, (6): 9-12.
- [4] 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. 北京: 北京师范大学, 2012.
- [5] 庞西磊, 黄崇福, 张英菊. 自然灾害动态风险评估的一种基本模式. 灾害学, 2016, 31(1): 1-6.
- [6] 蒋卫国, 盛绍学, 朱晓华, 等. 区域洪水灾害风险格局演变分析——以马来西亚吉兰丹州为例. 地理研究, 2008, 27(3): 502-508+727.
- [7] 路明浩. 安徽沿江地区洪涝灾害风险时空演变研究[D]. 芜湖: 安徽师范大学, 2011.
- [8] 苏飞, 殷杰, 尹占娥, 等. 黄浦江流域洪灾动态风险演化趋势研究. 地理科学, 2014, 34(5): 621-626.
- [9] 苏桂武, 高庆华. 自然灾害风险的行为主体特性与时间尺度问题. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 9-16.
- [10] 赵思健. 自然灾害风险分析的时空尺度初探. 灾害学, 2012, 27(2): 1-6+18.
- [11] 赵思健. 基于情景的自然灾害风险时空差异多维表达框架. 自然灾害学报, 2013, 22(1): 10-18.
- [12] 黄崇福. 自然灾害风险分析与管理. 北京: 科学出版社, 2012: 32, 42, 63-64, 73-74, 130, 208, 215.
- [13] Coppola D P. Introduction to international disaster management. 3rd ed. Oxford: Butterworth- Heinemann Elsevier, 2015: 150.
- [14] 温家洪, 黄蕙, 陈珂, 等. 基于社区的台风灾害概率风险评估——以上海市杨浦区富禄里居委地区为例. 地理科学, 2012, 32(3): 348-355.
- [15] UNDP (United Nations Development Programme). Reducing disaster risk: A challenge for development. New York: Bureau for Crisis Prevention and Recovery, 2004.
- [16] 国务院办公厅. 国家综合减灾“十一五”规划. <http://jnjd.mca.gov.cn/article/zyjd/zhxxy/201004/20100400069153.shtml>.
- [17] Kron W. Flood risk = hazard • values • vulnerability. Water International, 2005, 30(1): 58-68.
- [18] 马保成. 自然灾害风险定义及其表征方法. 灾害学, 2015, 30(2): 16-20.
- [19] Heneka P, Hofherr T, Ruck B, et al. Winter storm risk of residential structures-model development and application to the german state of baden-wuerttemberg. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2006, 6(5): 721-733.
- [20] 郭君, 黄崇福. 自然灾害风险研究进展的一个调查. 风险分析和危机反应的创新理论和方法——中国灾害防御协会风险分析专业委员会第五届年会论文集(南京, 2012年10月27-28日), 黄崇福, 翟国方编, 巴黎, Atlantis出版社, 2012: 168-176.
- [21] Chai B, Tang Z H, Zhang A, et al. An uncertainty method for probabilistic analysis of buildings impacted by rockfall in a limestone quarry in fengshan, southwestern china. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2015, 48(5): 1981-1996.
- [22] Cardona O D, Ordaz M G, Reinoso E, et al. CAPRA - comprehensive approach to probabilistic risk assessment: International initiative for risk management effectiveness. 15th World Conference on Earthquake Engineering", Lisbon, Portugal. 1-10.
- [23] Joyette A R, Nurse L A, Pulwarty R S. Disaster risk insurance and catastrophe models in risk-prone small caribbean islands. Disasters, 2015, 39(3): 467-492.
- [24] 赵思健, 张峭, 王克. 农业生产风险评估方法评述与比较. 灾害学, 2015, 30(3): 131-139.
- [25] 郭君, 黄崇福, 艾福利. 与月份及预警有关的广东省台风动态风险研究. 系统工程理论与实践, 2015, 35(6): 1604-1616.
- [26] Dewan A. Floods in a megacity: Geospatial techniques in assessing hazards, risk and vulnerability. Dordrecht, Heidelberg: Springer Geography, 2013: 35-74.
- [27] Jongman B, Winsemius H C, Aerts J C, et al. Declining vulnerability to river floods and the global benefits of adaptation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2015, 112(18): 2271-2280.
- [28] Mitchell J K. Megacities and natural disasters a comparative analysis. GeoJournal, 1999, 49(2): 137-142.
- [29] 郭跃. 自然灾害的风险特征及风险管理模型的探讨. 水土保持研究, 2006, 13(4): 15-18.
- [30] Chang S E, Gregorian M, Pathman K, et al. Urban growth and long-term changes in natural hazard risk. Environment and Planning A, 2012, 44(4): 989-1008.
- [31] 孙鼎国, 王杰. 西方思想 3000 年. 下册. 北京: 九州图书出版社, 1998: 1516.
- [32] Kellenberg D K, Mobarak A M. Does rising income increase or decrease damage risk from natural disasters?. Journal of Urban Economics, 2008, 63(3): 788-802.
- [33] Zhai G F, Li S S, Chen J. Reducing urban disaster risk by improving resilience in china from a planning perspective. Human and Ecological Risk Assessment, 2015, 21(5): 1206-1217.
- [34] GFDRR (Global Facility For Disaster Reduction And Recovery). Understanding risk in an evolving world, emerging best practices in natural disaster risk

- assessment. Washington DC: The World Bank, 2014.
- [35] Pappenberger F, Cloke H L, Parker D J, et al. The monetary benefit of early flood warnings in Europe. *Environmental Science & Policy*, 2015, 51: 278-291.
- [36] 联合国减灾署(UNISDR). 加强国家和社区的抗灾能力: 2005--2015 年兵库行动纲领.
<http://www.un.org/zh/humanitarian/disaster/hfa.shtml>.
- [37] Guo J, Zhao S, Huang C. Valid historical data for probabilistic risk analysis in natural disaster. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 2017, 23(3): 474-493.
- [38] 任超奇. 新华汉语词典. 武汉: 崇文书局, 2006: 805, 822, 1030.
- [39] 董大年. 有效. 现代汉语分类大词典. 上海: 上海辞书出版社, 2007: 1003.
- [40] 凌复华. 突变理论——历史、现状和展望. *力学进展*, 1984, 14(4): 9-24.
- [41] 何文平. 动力学结构突变检测方法的研究及其应用. 兰州: 兰州大学, 2008.
- [42] 朱吉祥, 张礼中, 周小元, 等. 区域地质灾害评价的有效性周期分析. *安全与环境学报*, 2012, 12(3): 253-258.