

文章编号:1004-4574(2012)01-0009-09

## 情景驱动的区域自然灾害风险分析

赵思健<sup>1,2</sup>, 黄崇福<sup>2</sup>, 郭树军<sup>3</sup>

(1. 中国农业科学院 农业信息研究所, 农业部智能化农业预警技术重点开放实验室, 北京 100081; 2. 北京师范大学 民政部/教育部 应急与减灾管理研究院, 北京 100875; 3. 河北省气象科学研究所, 河北省所象与生态环境重点实验室, 河北 石家庄 050021)

**摘要:**随着近年来自然灾害发生频次的增加与巨灾效应的不断涌现,人们对自然灾害风险分析提出了更高的要求与期望。然而,由于人们对“风险”认识的不全面与不系统,导致了灾害风险分析理论与技术水平的停滞不前。“风险是与某种不利事件有关的一种未来情景”是我们对“风险”的诠释。据该定义可知,风险不仅仅只是着眼于过去,更重要的是要展望未来;风险不再只是历史灾难的统计,而是未来不利事件情景的分析。因此,“情景分析”成为风险研究的一项新手段,它不仅摒弃了传统方法仅着眼“过去”的局限性而实现从“过去”到“现在”到“未来”合理过渡的研究思路,而且摒弃了传统方法仅限于因子统计分析的局限性而实现系统分析的研究理念。以“情景分析”为技术手段,提出了情景驱动的区域自然灾害风险分析方法,旨在探讨对风险研究思路与技术的创新。

**关键词:**区域自然灾害; 风险分析; 情景分析; 洪涝

中图分类号:X4

文献标志码:A

## Scenario-driven risk analysis of regional natural disasters

ZHAO Sijian<sup>1,2</sup>, HUANG Chongfu<sup>2</sup>, GUO Shujun<sup>3</sup>

(1. Agricultural Information Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences; Key Laboratory of Digital Agricultural Early-warning Technology, MOA, Beijing 100081, China; 2. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Hebei Provincial Key Lab for Meteorology and Eco-Environment, Hebei Provincial Institute of Meteorological Science, Shijiazhuang 050021, China)

**Abstract:** Risk analysis of regional natural disasters, such as flood, typhoon and earthquake, have increasingly become core subjects of natural disaster researches in recent years. However, there is still slow progress in the theory and methodology of risk analysis of regional natural disasters due to our incomplete and unsystematic knowledge of risk concept. ‘Risk is a set of scenarios in the future associated with some adverse incidents’ was our scientific definition to risk. From this definition, it can be seen that risk analysis is not just to investigate the past but more importantly is to take a look at the future, i. e. to carry out the scenario analysis of future possible adverse incidents. Thus, in this paper, a new method, scene-driven risk analysis method was developed to be applied in the risk analysis of regional natural disasters.

**Key words:** regional natural disaster; risk analysis; scenario analysis; flood and water-logging

当我们打开案头的信息媒介,几乎每天都可以看到世界各地关于自然灾害所造成的重大人身伤亡或财产损失报道。自然灾害已日益成为全世界最为关心的安全话题之一,预防和减轻自然灾害成为全世界社

收稿日期:2010-11-10; 修回日期:2011-05-11

基金项目:国家高技术研究发展计划“863”项目(2009AA12Z124);国家自然科学基金青年基金项目(40901274)

作者简介:赵思健(1977-),男,博士,主要从事自然灾害风险分析理论与应用研究。E-mail: scanzhao@hotmail.com

通讯作者:黄崇福(1958-),教授。E-mail: hchongfu@bnu.edu.cn

会安全的重要组成部分。

20 世纪 80 年代末 90 年代初 随着联合国倡导的“国际减轻自然灾害十年”活动的开展,一门以各类灾害为研究对象的综合性学科—灾害学开始孕育而生<sup>[1]</sup>,其中区域自然灾害是灾害学研究的重要内容。经过了十多年的探索,区域自然灾害研究工作已取得了可喜的进展 特别是已全面构架了区域自然灾害研究的理论体系<sup>[2-3]</sup>,且研究内容已覆盖了灾害区划原理、灾害损失评估方法、灾害预测预报技术、灾害应急管理和综合减灾对策等多个方面。此外 随着自然灾害研究的深入开展,一个新兴的研究领域—自然灾害风险研究逐渐受到人们的重视<sup>[1]</sup>。一方面,区域自然灾害研究的最终目的是在于“知新” 鉴于目前甚至将来,人类对许多区域自然灾害不能准确预测预报,故对区域自然灾害风险分析的理论与方法的研究越来越引起众多研究者的关注。另一方面,区域经济建设和社会发展的实践亦提出了加强区域自然灾害风险分析的理论与方法研究的迫切需求,如制定区域发展规划、确定区域保险费率、开发利用土地资源、建设重大工程项目、区域环境评价等都必须综合考虑区域自然灾害风险水平。由此可见,自然灾害风险研究在区域自然灾害学中具有重要的地位,值得也迫切需要进行深入的探索。

然而,由于人们对“风险”认识的不科学与不系统导致近年来灾害风险分析理论与技术的停滞不前,特别是始终没能提出一套系统认识区域自然灾害风险的理论体系与评估技术,使区域自然灾害风险研究始终停留在旧思路和旧方法上,让实际的灾害风险评估工作更是“举步为艰”。为此,本文拟从“风险”定义入手剖析风险与自然灾害风险的本质特征,进而引出“情景驱动的区域自然灾害风险分析”方法,并重点阐述该方法的理论框架、数学表达与技术流程,旨在对区域自然灾害风险分析思路与方法的创新。同时,本文还以情景驱动的农作物洪涝灾害风险分析为示例对该方法的实现过程进行详述,对指导实际的灾害风险评估工作具有重要的现实意义。

## 1 风险与自然灾害风险

### 1.1 风险

“风险”(risk)这个再通俗不过的日常用语却一直困扰着大家。生活与工作中,大家都会习惯地将“风险”挂在嘴边,但却对“风险”的内涵缺乏科学与全面的认识。那究竟什么是“风险”呢?

不同领域、不同学者由于各自的学科背景和研究角度不同对“风险”有着不同的理解与定义。按权威的韦伯字典的说法,风险是“面临着伤害或损失的可能性”;在保险业中,风险是指“危害或损失”的可能性;自然灾害领域中,风险被视为“人们在危险事件中的暴露”<sup>[4]</sup>;消防领域中干脆将“起火概率”定义为火灾风险<sup>[5]</sup>。Wilson 等<sup>[6]</sup>1987 年在影响颇大的刊物《Science》所发表的文章将风险的本质描述为不确定性,风险定义为期望值。

很遗憾,上述这些“风险”的定义仅从一个或者多个侧面对“风险”进行描述,缺乏一种从系统的角度出发来看待“风险”。“风险”定义应该逐步摆脱特性的描述,而需要更多地从系统论的角度出发进行刻画。

中文词汇的精妙构成体现了中国人对事物或现象的精辟抽象与概括。“风险”是一个近代才出现的词汇,古代用“危险”这个词来代替。“风险”一词可由“风”与“险”构成,“风”自然联系到“大风”,“险”自然联系到“危险”,串在一起便是“大风来就会有危险”这就是“风险”。当然,这是近代人对“风险”的最原始概括,如今我们则需对此进行进一步联想与扩展。从“大风”与“危险”两词,我们可以联想到如下情景:半空中有一个钩子悬挂着一块大石头,石头下恰有一名工人在工作,如果大风来,便可能吹落大石头,石头掉下会砸伤工人,这名工人就会有危险(如图 1)。自然地,我们还会联想到与此相关的其他情景:如果钩子受损失效,石头也会落下,同样会砸伤工人,工人同样有危险。诸如这一幕幕联想的情景就综合构成了石头砸伤工人的“风险”。当然,这仅仅是从“风险”的构词角度入手展开实例来对“风险”进行诠释,相似的例子我们可以举出很多。但是,从该例子中我们就对“风险”有了深刻的认识,原来“风险”是未发生的,即是未来的“风险”是一幕幕场景,即是综合情景“风险”是会伤人的,即是不利事件。据此,黄崇福<sup>[7]</sup>对“风险”进行了情景定义。

“定义 1: 风险是与某种不利事件有关的一种未来情景。”

从定义 1 中,我们获悉了风险的 3 个本质特性:其一是“风险”是与不利事件有关的,所谓“不利”便是说事件将带来人们所不能接受的破坏、损失或者伤亡;其二是“风险”是未来的,即过去的不利事件仅能称“灾难”而不是“风险”,同时“未来”也点明了“风险”的不确定性;其三是“风险”是情景,即“风险”是人们能够

感知或者联想到的一幕幕不利事件的情景,且每一幕情景都展现了事件要素(如:风、钩子、石头和工人)之间相互作用后产生不利后果的全过程,充分体现出“风险”是一个复杂性系统。

“风险”的情景定义摆脱了以往风险定义中仅对“风险”特性的片面解释,实现了从系统论角度来整体诠释“风险”。同时,“情景”还为我们研究风险提供了新的思路和方法,值得我们深入探索。

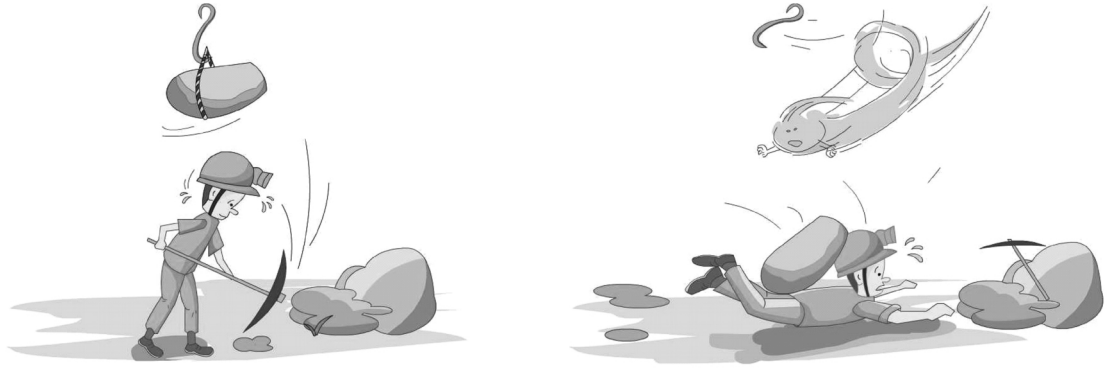


图 1 石头砸伤工人的情景漫画

Fig. 1 Scenario caricature: a worker is injured by a stone

## 1.2 自然灾害风险

在“风险”定义的基础上许多专家学者开始对“自然灾害风险”进行定义,如 Maskrey<sup>[8]</sup> 定义为: 风险是某一自然灾害发生后所造成的总损失; Smith<sup>[9]</sup> 定义为: 风险是某一灾害发生的概率; Tobin 和 Montz<sup>[10]</sup> 定义为: 风险是某一灾害发生的概率和期望损失的乘积; Deyle 等<sup>[11]</sup> 定义为: 风险是某一灾害发生的概率(或频率)与灾害发生后果规模的结合; Hurst<sup>[12]</sup> 定义为: 风险是某一灾害概率与结果的描述; 联合国赈灾组织(United Nations Disaster Relief Coordinator, UNDRC)<sup>[13]</sup> 公布的自然灾害风险定义是: 风险是一定的区域和给定的时间段内,由于某一个自然灾害而引起的人们生命财产和经济活动的期望损失值。上述这些“自然灾害风险”定义,反映了人们对“风险”和“自然灾害风险”认识的不断深化,然而也不难看出这些定义还是片面地强调了自然灾害风险的表达方式,并没有解决“自然灾害风险是什么?”的科学问题。依据“风险”的情景定义,黄崇福<sup>[14]</sup>对“自然灾害风险”进行了如下定义。

“定义 2: 自然灾害风险是由自然变异为主因导致的未来不利事件情景。”

该定义蕴含了“自然灾害风险”的 3 层内涵: 一是“自然灾害风险”是与自然变异为主因导致的不利事件相关,任何人为的不利事件够不上“自然灾害风险”,而且这里所指的“不利”可以理解为企业将会造成生命财产和社会经济损失; 二是“自然灾害风险”是“未来”的,具有不确定性,任何过去发生的自然变异导致的不利事件仅能称为“灾害”,够不上“风险”; 三是“自然灾害风险”是未来可能发生的自然灾变带来灾害过程的一幕幕情景,每一幕情景都将描述从“灾变发生”到“过程演进”到“造成灾难”的全景过程。总之,“自然灾害风险”的情景定义为我们开拓了一条认识与分析自然灾害风险的新思路。

## 2 自然灾害风险评估方法综述

目前,国内外自然灾害风险评估的方法多种多样,从方法特性上可以分为定性方法、定量方法和半定性半定量方法,从方法的模型实现上又可分为极值法、概率法和模糊法<sup>[15]</sup>。这里,文章作者从方法的驱动因素入手将自然灾害风险的评估方法分成指标驱动和纯数据驱动的自然灾害风险评估方法。

### 2.1 指标驱动的评估方法

指标驱动的自然灾害风险评估方法是从致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性和区域防灾减灾能力出发,构建研究区灾害风险的指标评价体系,利用数学模型计算指标的权重后结合指标值计算研究区的风险等级。典型的分析方法包括层次分析法、模糊综合评判法、主成分分析法、专家打分法、历史比对法和德尔菲法等。

指标驱动的评估方法具有灵活性,也具有不稳定性,灵活性在于它可根据研究区的实际情况进行指标体

系调整,不稳定性在于指标的选择和指标权重的确定大都是定性的,不同的人可能构建出不同的指标体系。此外,该方法的评估结果不能获得研究区的风险度,只能大致反映出研究区的风险等级,仅具备指示作用。

## 2.2 纯数据驱动的评估方法

纯数据驱动的自然灾害风险评估方法是以研究区的历史灾度和灾损样本数据为基础,利用数学模型对样本数据进行统计分析获得灾害灾度与损失的统计规律,进而实施自然灾害的风险评估。典型的分析方法包括回归模型、时序模型、聚类分析、概率密度函数参数估计法或非参数估计法等。

随着风险定量方法的发展,纯数据驱动的评估方法经历了极值评估法、概率评估法和模糊评估法 3 个阶段<sup>[15]</sup>。极值评估法是以研究区历史上遭受的最大灾害程度(灾度或灾损)来充当风险的量度。该方法虽然简单易用,但却常高估或低估研究区的风险;概率评估法是通过统计研究区灾害样本的概率分布规律,利用超越概率获得研究区的灾度或灾损,以此作为风险的量度。该方法反映了灾害事件的随机不确定性,评估结果比较可靠,但该方法在遇到数据样本太少而无法准确获得样本的概率分布时,评估结果将会出现较大的偏差;模糊评估法是以历史资料数据为据,对灾害风险中的模糊不确定因素用模糊集理论表述,并采用模糊近似推理得到以模糊集或模糊关系表示的灾害风险。该方法考虑了灾害风险中的模糊不确定性,并可在不知道参数的确切分布的前提下利用模糊集来表达风险,但该方法评估结果多是模糊关系或模糊集,无法直接进行比较。

## 2.3 讨论

在缺乏灾害历史数据的前提下,指标驱动的自然灾害风险评估方法是最常用、最易操作的评估方法。但该方法是一种典型的定性评估方法,没有从“风险”的本质入手,严重忽略了“风险”的未来不确定性,评估结果不但无法反映过去也无法反映未来。再者,该方法缺乏可靠的验证手段,评估结果仅能作为灾害风险等级的一个初步参考。纯数据驱动的自然灾害风险评估方法是一种典型的定量评估方法,方法非常依赖数据,常常会遇到数据样本太少(简称小样本)或样本信息不完备的情况(信息扩散方法不能解决极少样本问题),或者干脆出现完全缺失样本的情况(笔者认为“并非有记录的年代不发生灾害就认为没有风险”,例如 2008 年初发生的南方冰雪灾害),让该方法的使用存在巨大的障碍。此外,该方法的数据往往是研究区的灾度或灾损数据,由于地方统计原因数据的空间尺度仅能限于县级乃至市级,导致风险评估的结果过于粗糙,空间精度无法提高,不能识别出真正的高风险区。再者,该方法是对过去数据的统计分析,没有考虑到“风险”是未来情景的根本,也没有考虑到“风险”是复杂性系统的实质,分析结果很难客观反映风险。与前一种方法一样,该方法也缺乏可靠的验证手段,评估结果常常遭人怀疑。为弥补上述两种评估方法的缺陷,作者从风险的情景定义出发引出情景驱动的区域自然灾害风险分析法。

# 3 情景驱动的区域自然灾害风险分析

## 3.1 情景分析

“情景”(scenario)最早出现于 1967 年 Herman Kahn 和 Wiener 合著的《2000 年》一书中<sup>[16]</sup>,他们认为:未来是多样的,几种潜在的结果都有可能在未来实现。通向这种或那种未来结果的路径也不是唯一的,对可能出现的未来以及实现这种未来的途径的描述构成了一个情景。因此,“情景”就是对未来情形以及事态由初始状态向未来状态发展的一系列事实的描述。“情景分析”(scenario analysis)是在推测的基础上,对可能的未来一系列情景加以描述后,获得一系列情景下未来状态的预测集并形成一個总体的综合评价(如图 2)。从图 2 可以看出,情景分析是沟通过去、现在和将来的一种对未来可能事件进行完备分析的技术,它承认未来的发展是多样化的,有多种可能发展趋势,其结果也将是多维的。

“情景分析”作为一种用于未来长中期研究的方法,其适用范围包括<sup>[16]</sup>:(1) 未来发展具有很强的不确定性;(2) 过去曾有“突发性”现象出现,并造成很大的损失;(3) 未来有可能出现新的机遇和挑战,但依据并不充分;(4) 事物发展将或可能经历明显的“跳跃”;(5) 在未来发展中,有众多因素的影响,其中包括人为因素(决策的选择等)影响。

反观“风险分析”,它是对未来不利事件的研究,作者认为这些不利事件具备如下特性:(1) 不利事件的未来发展具有很强的不确定性;(2) 不利事件过去曾经出现过“突发”的现象,同时造成过很大的破坏或损失;(3) 不利事件的未来发展可能出现过去未曾出现过的新情形,但目前缺乏充分的依据;(4) 未来不利事件

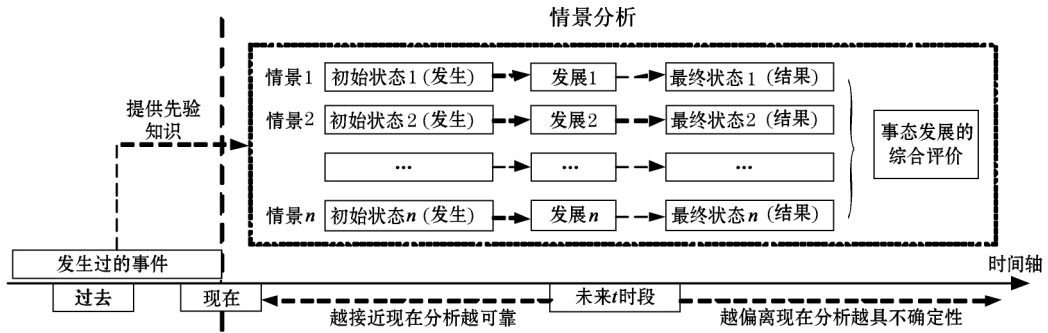


图 2 情景分析的图示

Fig. 2 Graphic expression of scenario analysis

的发展受到众多因素的影响(时间、空间和环境等),其中还包括人为因素的影响,例如人为地制定规避不利事件的管理机制等。

不难看出,“风险分析”的上述 4 个特性正好匹配“情景分析”的适用范围,因此“情景分析”可用于“风险分析”。

### 3.2 风险的情景分析

“风险”是不利事件的未来情景,这类情景将是多元化的,这种多元化体现在不利事件未来的发生条件、发展过程以及造成的后果都会有所不同,每一种可能出现的未来事件过程就被称为一幕情景。风险的情景分析就是要对不利事件的未来可能出现的一幕幕情景进行过程分析和结果评估,最后给出该不利事件的未来态势。此外,“风、钩子、石头和工人”的实例说明了风险的情景分析需要遵循系统论的分析思路,每一幕情景都将是不利事件组成要素之间相互作用的过程演练。

风险情景分析中的情景  $S$  主要由发生条件  $C$ 、构成要素  $O$ 、发展过程  $P$  和不利结局  $D$  四要素构成。发生条件  $C$  是指情景未来发生的条件,具体包括时间  $t$ 、地点  $l$ 、初始条件集  $F(f_1, f_2, \dots, f_n)$  和发生概率  $p$ 。情景之间的差异主要体现在未来事件发生的时空与初始条件集的不同,而这些不同也带来了情景发生可能性  $p$  (即发生概率) 的差异。构成要素  $O$  是指情景中涉及到的对象集,具体可包括作用体  $o_a$ 、承受体  $o_p$ 、环境对象  $o_e$  和其它对象  $o_c$ 。作用体  $o_a$  是指不利事件中会导致不利后果的对象,也叫致险体,例如实例中的石头;承受体  $o_p$  是作用体  $o_a$  直接或者间接作用的对象,它将遭受破坏、伤亡或损失,又称承险体,例如实例中的工人;任何情景的发展都要处在一个环境空间内,空间内的环境对象  $o_e$  会对情景的发展起影响作用,例如实例中的风;其他对象  $o_c$  是指参与情景的其他对象,例如实例中的钩子。发展过程  $P$  是情景在发生条件  $C$  下构成要素  $O$  之间相互作用的过程,例如实例中的“风吹”到“钩子松动”到“石落”到“砸伤工人”的全过程。情景的发展过程基本上符合一定的过程规律,仅是因为初始条件  $C$  和构成要素  $O$  的差异而呈现出不同的过程特征。不利结局  $D$  是情景的最终状态,也是不利事件导致的不利后果,例如“工人受伤”或“工人死亡”。这种不利后果常用承受体的损失额和破坏伤亡数进行衡量,具体可通过作用体  $o_a$  产生的作用力  $v$  与承受体  $o_p$  自身抵抗力(即脆弱性)之间的关系  $f$  来确定。由于各情景的发生条件存在差异,导致情景发展后作用体  $o_a$  产生的作用力  $v$  存在差异,最终带来不利后果  $D$  的差异。根据上述描述,情景可形式化表达如下:

$$\begin{cases} S = \langle C\{t, l, F\{f_1, f_2, \dots, f_k\}, p\}, O\{o_a, o_p, o_e, o_c\}, P(C, O), D \rangle; \\ p = p(t) \cdot p(l) \cdot \prod_{i=1}^k p(f_i); \\ v \leftarrow P(C, O); \\ D = f(v, o_p). \end{cases} \quad (1)$$

根据风险的情景定义 1, 风险 Risk 可表达如下:

$$\text{Risk} = \{ \langle S_i, P(S_i), D(S_i) \rangle \mid i = 1, 2, \dots, n \} \quad (2)$$

式中:  $P(S_i)$  表示情景  $S_i$  的发生概率,等同于情景表达式(1)中的  $p$ ;  $D(S_i)$  表示情景  $S_i$  的不利后果,等同于情景表达式(1)中的  $D$ ;  $n$  表示不利事件未来可能出现的情景数。

为了便于比较和应用,风险需要实现量度操作。目前,风险拥有很多量度方法,如乘法、加和法等。其中,最常见的是用期望值(年期望损失额)作为风险的量度。因此,根据定义(2),风险值可表达为所有未来

可能出现情景造成后果的综合期望值,即:

$$R = \sum_{i=1}^n p(S_i) \cdot D(S_i) \quad (3)$$

在实践中,风险情景分析的具体实施步骤如下:(1) 确认风险分析的不利事件主题,包括其涉及的时间、地点和发生条件等;(2) 识别不利事件涉及的对象,包括作用体、承受体、环境对象和其他对象;(3) 通过条件分析构建不利事件未来可能出现的各种情景;(4) 确定每种情景概率,这个概率是情景发生条件的概率乘积;(5) 演练情景,即对每种情景发展过程进行描述或仿真;(6) 计算每种情景的最终不利结果,即损失值或破坏伤亡数;(7) 对所有情景不利结果进行综合评价,获得期望结果作为风险的量度。

上述实施步骤具有 3 个核心内容,一是情景概率的确定依赖于发生条件,发生条件越多情景概率的确定就越复杂。同时,各种发生条件的概率确定需要依赖大量实验;二是情景发展的描述与仿真依赖于对不利事件发展机理的认知,认知越充备,情景的发展过程也符合实际;三是不利后果的计算依赖于对承受体脆弱性函数的确定,它同样建立在大量承受体破坏性实验的基础上。

### 3.3 区域自然灾害风险的情景驱动分析

根据区域自然灾害系统论的观点,区域自然灾害系统表达为由孕灾环境  $Y$ 、致灾因子  $H$ 、承灾体  $E$  和灾害损失  $L$  四要素共同构成的一类系统<sup>[3]</sup>。孕灾环境是孕育灾害的自然与人文环境,它是灾害发生的环境条件;致灾因子  $H$  是造成灾害的直接原因,又称灾源;承灾体  $E$  是承受灾害的对象,承灾体的破坏现象是自然灾害的主要表现形式之一;灾害损失  $L$  是承灾体暴露于灾害中而导致的破坏损失,没有破坏损失就构不成灾害。为了连接四个要素构成一个完整的自然灾害全过程,本文作者引入了灾害演进  $P$  与场地致灾力  $V$  两个要素。灾害演进  $P$  是致灾因子  $H$  与孕灾环境相互作用过程,其结果将产生破坏性的场地致灾力  $V$ ;场地致灾力  $V$  是指与承灾体  $E$  直接接触并造成其破坏的灾害力,如暴雨后的地面积水等。根据上述六要素,一个完整的自然灾害过程如图 3 所示。

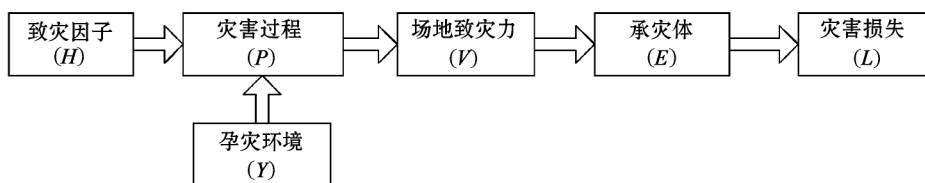


图 3 区域自然灾害的过程剖析

Fig. 3 Process analysis of regional natural disasters

依据情景构成要素分析,情景驱动的区域自然灾害风险分析将利用研究区上未来可能出现的致灾因子  $C_H$  为“发生条件”生成情景  $S$ ,该  $C_H$  包括致灾因子发生的时  $t$ 、空  $l$ 、强  $i$  及持续时间  $e_1$ 。致灾因子发生条件的不同带来了情景发生概率  $p$  的差异,这个概率可由致灾因子强度  $i$  - 持时  $e_1$  的联合概率分布进行确定。每一个情景的“构成要素” $O$  均包括致灾因子  $H$ 、孕灾环境  $Y$  和承灾体  $E$ 。情景“发展过程” $P$  将遵循图 3 所示的灾害过程,该过程持续  $e_2$  时间后产生破坏性的场地致灾力  $V$ 。在致灾力  $V$  下,承灾体  $E$  产生破坏损失  $L$  构成了情景的“不利结局”。破坏损失  $L$  可通过承灾体的脆弱性函数  $f$  来确定。由上可知,区域自然灾害风险分析的情景  $S$  可形式化表达如下:

$$\begin{cases} S = \langle C_H \{ (t, l, i, e_1), p \}, O \{ H, Y, E \}, P \{ H, Y, e_2 \}, L \rangle; \\ p = 1 - F(i, e_1); \\ V(e_2) \leftarrow P(H, Y, e_2); \\ L = f(V, E). \end{cases} \quad (4)$$

根据公式(3),区域自然灾害风险值可表达如下:

$$R_N = \sum_{i=1}^n P(S_i) \cdot L(S_i). \quad (5)$$

为能实际操作情景驱动的区域自然灾害风险分析,具体的实施步骤描述如下(图 4):

步骤 1: 情景主题确定 - 确定分析的灾种。根据待分析的灾种,识别它的致灾因子、孕灾环境、场地致灾力和承灾体,从机理上认识灾害发生、发展与致灾过程。

步骤 2: 情景制作 – 致灾因子统计分析。由于致灾因子的条件设置是制作情景的前提,为此收集致灾因子长时间序列的历史记录,借助统计分析技术获得致灾因子“时空分布”与“强度 – 持时”分布规律,获得不同发生概率下致灾因子强度、持时和时空分布,并将其作为条件生成一幕幕情景序幕。致灾因子的样本数据(特别是气象因子数据)通常是大样本数据,可以获得较准确的概率分布。

步骤 3: 情景过程分析 – 灾害仿真建模与承灾体易损性建模。依托机理,建立灾害演进过程的仿真模型,使其能够在输入致灾因子条件下模拟场地致灾力的分布;同时,对承灾体的物理暴露性和灾损脆弱性进行建模,获得以场地致灾力为条件的承灾体易损性函数。

步骤 4: 情景回溯校正 – 过去灾害模拟校正。为了验证情景过程模型的有效性和准确性,收集历史上某几次受灾的致灾因子、灾度和灾损数据,将致灾因子作为条件输入仿真模型计算场地致灾力,同实际灾度数据比较验证进而校正过程模型的准确性,将场地致灾力输入承灾体易损性模型计算损失额,同实际灾损数据比较验证进而校正易损性模型的准确性。

步骤 5: 情景筛选 – 信用灾害情景选择。情景数量的多少直接影响风险评估的工作量,为此需要筛选出有限个具备代表性的情景(即信用灾害情景)进行分析。信用灾害情景是指灾害情景发生概率处于一个合理的范围且能造成足够大损失的情景<sup>[17]</sup>。该定义包含两层含义,其一是如果情景发生概率高(即可能性非常大)但其造成的损失很小,容易被人接受,这样的情景不是信用情景;其二是情景虽然能造成非常大的损失但出现的概率却非常非常低,这样的情景也不是信用情景。由于灾害情景的发生概率等同于致灾因子的发生概率,信用灾害情景可以通过限制致灾因子的重现期范围来确定。通常 20 a 到 200 a 重现期范围是较合理的信用灾害情景发生概率的设置范围,信用灾害情景的个数以 5 到 8 个为宜,其典型的重现期可取 20, 30, 50, 80, 100, 150, 200 a。

步骤 6: 情景演练 – 灾害情景过程模拟。利用校正的仿真模型对筛选出的情景分别进行灾害过程演练(即模拟),获得灾害的场地致灾力及其分布,再结合承灾体易损性模型计算每种情景造成的灾害损失额及其空间分布。

步骤 7: 情景综合评估 – 灾害风险综合评估。根据情景发生的概率(即致灾因子的重现期)和情景造成的损失,综合各种情景计算期望损失值,并将该损失值作为风险大小的量度。另外,情景演练后获得的损失可以精细到不同空间尺度的评价单元上(县、市、甚至网格单元),让风险评估值能够体现不同地区的差异。

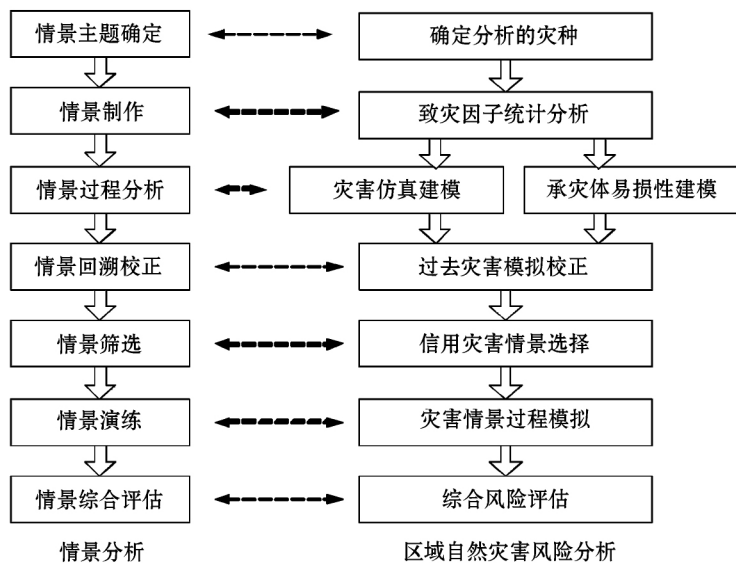


图 4 情景驱动的区域自然灾害风险分析的实施步骤

Fig. 4 Implementation process of scenario-driven risk analysis of regional natural disasters

## 4 情景驱动的农作物洪涝灾害风险分析示例

洪涝灾害是洪灾与涝灾的总称,它是由于一次短期或连续的强降水过程(暴雨)致使江河洪水泛滥淹没

农田和城乡 造成农业或其他财产损失和人员伤亡的一种灾害。洪涝灾害是我国发生比较频繁、危害比较严重的一种气象灾害 据统计全国自然灾害所造成的损失中洪涝占了 40%<sup>[18]</sup>。近年来 农业遭受洪涝泛滥造成的影响尤为突出 特别是南方地区的入夏暴雨洪涝几乎每年都会带水稻、玉米等农作物的减产与绝收 给农民带来了巨大的经济损失。为了防御洪涝灾害、保障农业生产和减少农民损失 ,十分迫切需要对农作物的洪涝灾害风险进行分析与评估。

根据情景驱动的区域自然灾害风险分析原理 农作物的洪涝灾害风险评估技术流程如图 5 所示: (1) 收集研究区上雨量站点长时间序列的降雨历史样本 利用多变量复合统计分布模型获得该研究区雨量强度 - 持时概率分布。(2) 根据信用情景的要求 选择重现期为 20 a 到 200 a 生成情景 ,每个情景都带有不同重现期(即发生概率)下的雨量强度与持时。(3) 构建洪涝灾害演进的数值仿真模型 ,该模型是一个二维网格水文动力学模型。其中 水文模型主要模拟降雨后的地表径流过程 ,而动力学模型主要模拟河道洪水演进和洪泛区地表水演进过程。此外 ,仿真模型还需要输入研究区(流域)的环境要素 ,例如高程、河流与土地利用等 作为洪涝过程演进的下垫面条件。(4) 对构建的仿真模型进行验证 ,具体可将历史上某次发灾的雨量输入仿真模型中获得模拟的场地致灾力(淹没水深、持时与面积) 与实际情况进行比较 在出现偏差的情况下及时修正 使模型满足可靠性的要求。至于实际的淹没情况 ,可通过遥感反演的方式获得。(5) 构建农作物洪涝灾害易损性模型 即建立作物减产与生产期、淹没水深与持时之间的关系函数。在获得场地致灾力的条件下 利用该函数可快速估算农作物的减产损失。(6) 利用历史损失数据进行易损性模型的验证 ,使其满足准确性的要求。(7) 运用洪涝水文动力学模型 ,对每种情景进行洪涝演进过程模拟 ,获得场地致灾力(面积 - 水深 - 持时) 再将它们代入农作物易损性模型中进行损失估算 ,得到每种情景下农作物的减产损失额。(8) 对所有情景的损失结果进行综合计算 ,获得农作物的期望损失值。(9) 根据期望损失值对研究区进行区划 获得农作物洪涝灾害风险区划图。由于期望损失值基于网格进行计算的 ,该区划图也是基于网格的 ,其空间精度更高。

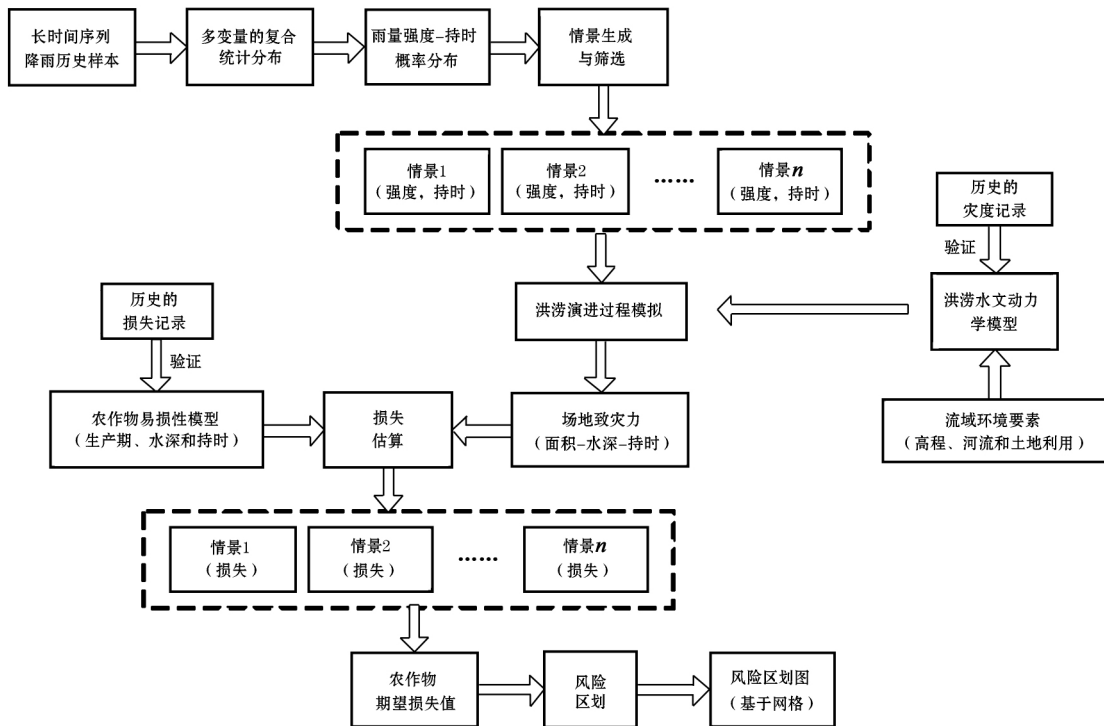


图 5 情景驱动的农作物洪涝灾害风险分析的技术流程

Fig. 5 Technical flowchart of scenario - driven risk analysis of crop's flood disasters

上述的技术流程是可实施的 ,每一个环节都有大量成功的研究成果可供使用。而且 流程获得的成果 - 风险区划图具有重要的应用价值 ,它可为目前国家大力推行的农业灾害保险提供支持 ,它将成为农作物保险费率厘定的重要依据。



## 5 总结

综上所述,“情景分析”是新型的风险分析方法,它为区域自然灾害风险分析提供了一条崭新的技术路线,具备如下几个优点:

(1) 紧扣“风险”的情景定义,实现从“未来情景”的角度进行风险分析,突破了传统方法的分析思路,具备先进性;

(2) 克服传统方法仅从灾害因子的角度进行评估的不足,利用“情景发展”连接所有参与要素,真正实现“风险”的系统分析;

(3) “情景回溯法”实现了灾害过程与破坏过程的验证,使风险的评估结果相对可靠,克服了传统方法分析结果可靠性无法验证的缺点;

(4) 方法易于实现空间网格化分析,大大提高了风险评估结果的空间精度,能发现真正的高风险区域。

当然,该方法的运用也存在着难度,尤其是对区域自然灾害过程的仿真建模要求甚高。但鉴于人们对复杂地理现象的认识越来越深入,灾害过程的仿真建模工作必将会更上一个台阶,情景驱动的区域自然灾害风险分析方法将会得到广泛的应用。

## 参考文献:

- [1] 任鲁川. 区域自然灾害风险分析研究进展[J]. 地球科学进展, 1999, 14(3): 242-245.  
REN Luchuan. Advance in risk analysis for regional natural disaster[J]. Advance in Earth Sciences, 1999, 14(3): 242-245. (in Chinese)
- [2] 马宗晋, 方蔚青, 高文学, 等. 中国重大减灾问题研究[M]. 北京: 地震出版社, 1992.  
MA Zongjin, FANG Weiqing, GAO Wenxue, et al. The Research in Big Problems of Chinese Disaster Mitigation[M]. Beijing: Seismological Press, 1992. (in Chinese)
- [3] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(4): 6-17.  
SHI Peijun. Theory and practice of disaster study[J]. Journal of Natural Disasters, 1996, 5(4): 6-17. (in Chinese)
- [4] UNEP. Global Environment Outlook 3: Past, Present and Future Perspectives[M]. London: Earthscan Publications Ltd, 2002.
- [5] Hardy CC. Wildland fire hazard and risk: problems, definitions, and context[J]. Forest Ecology and Management, 2005, 211(1/2): 73-82.
- [6] Wilson R, Crouch E A. Risk assessment and comparison: a introduction[J]. Science, 1987, 236(4799): 267-270.
- [7] Chongfu Huang, Da Ruan. Fuzzy risks and updating algorithm with new observations[J]. Risk Analysis, 2008, 28(3): 681-693.
- [8] Maskrey A. Disaster Mitigation: A Community Based Approach[M]. Oxford: Oxfam, 1989.
- [9] Smith K. Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster [M]. 2nd edition. New York: Routledge, 1996.
- [10] Tobin G A, Montz B E. Natural Hazards: Explanation and Integration[M]. New York: The Guildford Press, 1997.
- [11] Deyle R E, French S P, Olshansky R B, et al. Hazard assessment: the factual basis for planning and mitigation[M]// Burby R J. Cooperating with Nature: Confronting Natural Hazards with Land-Use Planning for Sustainable Communities. Washington D. C: Joseph Henry Press, 1998.
- [12] Hurst N W. Risk Assessment: the Human Dimension[M]. Cambridge: the Royal Society of Chemistry, 1998.
- [13] UNDRP. Mitigating Natural Disasters: Phenomena, Effects and Options - A Manual for Policy Makers and Planners[M]. New York: United Nations, 1991.
- [14] 黄崇福. 自然灾害风险区划图的更新原理[C]//风险分析与危机反应的理论和实践. 巴黎: Atlantis 出版社, 2008: 1-8.  
HUANG Chongfu. The principle of updating risk zoning maps of natural disasters[C]// Theory and Practice of Risk Analysis and Crisis Response (RAC-08). Paris: Atlantis Press, 2008: 1-8. (in Chinese)
- [15] 薛晔, 黄崇福. 自然灾害风险评估模型的研究进展[J]. 应用基础与工程科学学报, 2006, 14(增刊): 1-10.  
XUE Ye, HUANG Chongfu. Advance in risk assessment models of natural disasters[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2006, 14(S): 1-10. (in Chinese)
- [16] 于红霞. 情景分析在港口发展战略中的应用研究[D]. 天津: 天津大学, 2004.  
YU Hongxia. Research on Scenario Analysis for Port Development Strategy[D]. Tianjin: Tianjin University, 2004. (in Chinese)
- [17] Klugel J U, Mualchin L, Panza G F. A Scenario-based procedure for seismic risk analysis[J]. Engineering Geology, 2006, 88: 1-22.
- [18] 张继权, 李宁. 主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2007.  
ZHANG Jiquan, LI Ning. Quantitative Methods and Applications of Risk Assessment and Management on Main Meteorological Disasters[M]. Beijing: Beijing University Press, 2007. (in Chinese)